除染効果確認のための放射線測定

手引書

平成２５年３月

除染・廃棄物技術協議会
除染分科会
線量評価ワーキンググループ

目　次

はじめに 1
第１章　 放射線測定場所の選定 2
（1） 測定対象エリアの区分 3
（2） 測定位置・測定点数の設定 5
（3） 局所的汚染箇所（ホットスポット）の扱い 15
第２章　放射線測定方法の選択 18
（1） 放射線測定器の選択 18
（2） 除染対象場所のアクセス性に応じた放射線測定方法の選択 22
（3） バックグラウンド影響の考え方 24
（4） 周辺影響の低減方法 27
第３章　放射線測定の実施 30
（1） 測定のタイミング 30
（2） 放射線測定の条件 32
（3） 具体的測定方法 34
（4） 記録の作成 38
（5） データの信頼性の確認 42
第４章　除染効果の確認 46
（1） 除染効果の確認に用いる測定データ 46
（2） 除染効果の評価方法 47
（3） 評価指標の設定時期及び確認時期 48
（4） 除染効果が小さいと判断された場合の対応 49
資料１　既存の測定結果による測定位置・測定点数の検討 50
資料２　ホットスポットの推定・発見方法 57
資料３　新型の測定器を用いたホットスポットの測定データ例 62
資料４　測定器のテクニカルデータ 73
資料５　除染効果評価に必要な収集すべき情報 76
資料６　目標の設定手順 78
資料７　データの取り扱い方法 80
資料８　目標のデータの蓄積と評価 89
資料９　除染対象物の材質や周辺の影響を受けている場合のデータの取扱い例 90
資料 10　除染対象物が汚染されていない或いは放射線量が極めて低い場合と判断される測定データの取扱い例 93
手引書執筆分担 97
ワーキンググループ参画企業 97
本手引書に関する連絡先 97
あとがき 98

はじめに

本手引書は、除染前後の放射線の低減率（除染効果）を適切に測定・評価することを目的としたものである。

【背景】

除染が適切に行われ、放射性物質が除去されたことを確認するためには、除染対象箇所の放射線測定を除染前後に行って評価する必要があるが、現在広く行われている測定方法では、除染対象外のエリアからの放射線の影響を受けて、除染対象箇所の正確な評価ができない、測定方法にバラツキがあるため除染前後や異なるエリア間の比較ができない、などの問題点がある。また、除染効果を評価するためにはどの程度の測定点数が必要なのか、なども曖昧である。

本手引書は、上記問題点を解決し、適切な除染効果の判定が可能となるための糸口となるよう執筆したものであり、実際の現場担当者が現地の状況に応じた最適な測定方法を選択し、より正確な測定を行うための指針となることを目指したものである。

なお、1m 高さにおける広範囲の空間線量率分布の測定など、除染効果の判定を目的とした測定以外の放射線測定については、無人ヘリや自動車の走行サーベイなど、様々な効率的な測定方法が存在するため、本手引書の対象外とする。

また、本手引書はあくまで除染現場の担当者に具体的な測定方法とその考え方を示すものであり、国のガイドラインや工事の仕様書等で決められた測定方法がある場合には、これに優先するものではない。

【本手引書の概要】

本手引書は、「放射線測定場所の選定」（第１章）、「放射線測定方法の選択」（第２章）、「放射線測定の実施」（第３章）、「除染効果の確認」（第４章）で構成される。

第１章では、除染効果の適切な評価のために、まずは除染実施エリアをどのようなエリアに区分し、各区分ごとにどの場所または何箇所放射線測定を行うことが適当かについて述べる。

第２章では、各区分エリアの特徴に応じてどのような放射線測定方法を用いるのが適しているのかについて述べる。

第３章では、実際の測定手順および留意点について述べる。

第４章では、得られた測定結果を用いて、除染が適切に行われたか判断する方法について述べる。

なお、本手引書の執筆にあたっては、川内村、伊達市のご協力のもと、実際の除染現場で実証試験を行い得られた知見を反映した。実証試験は今後も継続実施する予定であり、新たな実証試験による知見を反映して、本手引書も改訂を行っていく予定である。

第１章　放射線測定場所の選定

除染効果の判定のためには除染前後に放射線測定を実施し、除染エリアごとに評価指標（管理値、目標）を満足しているか確認する必要があるため、最初のステップとして、除染効果の判定のために同じ評価指標を適用できる範囲まで除染実施箇所をエリア分けし、エリアごとに放射線測定を行う位置や測定点数を決定する。

具体的な流れについては図 1-1 に示す。

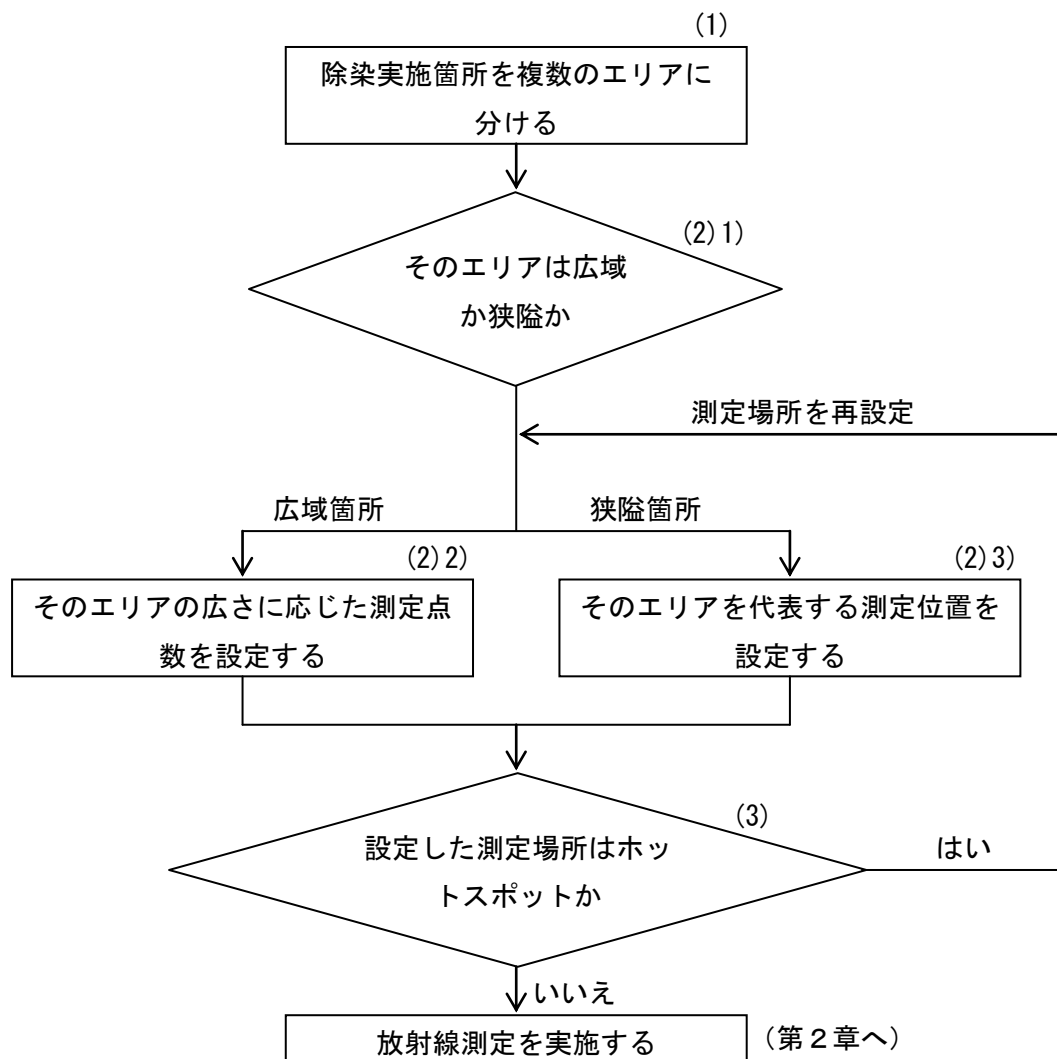



図 1-1　放射線測定場所の選定の流れ

※（）内の数字は次ページ以降で参照する項目の番号である。

(1) 測定対象エリアの区分

①	全体の除染エリアを、除染対象となる「土地利用区分」と「測定対象」または「部材、材質、地表面の状況等」が同一とみなせる範囲ごとに測定対象エリアに区分する。
②	「土地利用区分」は、「住宅等」、「学校・公園・大型施設」、「道路」、「法面」、「農地」、「草地、芝地」、「果樹園」、「森林」でエリア分けし、同じ土地利用区分でも異なる対象物・材質が混在する場合は、さらに「測定対象」または「部材、材質、地表面の状況」でエリア分けする。

【解説】

① 測定対象エリア区分の考え方

除染現場では様々な除染対象が混在しているため、除染が適切に行われたかを確認するためには、同一の評価指標を用いて判定できる範囲（土地利用区分、除染対象物、除染方法）ごとに測定対象エリアを明確に区分し、設定する。

「除染関係ガイドラインの第 2 編除染等の措置に係るガイドライン」(以下ガイドラインと記載する）では、除染対象の汚染の程度を確認するための測定点について、「建物等の工作物」、「道路」、「土壌」、「草木」に区分し、各区分ごとに空間線量率等の分布が把握できる間隔で測定点を設定するようになっている。しかしながら、下記例に示すような住宅地区分内の庭と道路など、一つの区分内に異なる対象物・材質が混在している場合などがあり、同一の指標でこれらの除染効果を判定することはできないため、本手引書では土地利用区分だけでなく、「測定対象」または「部材、材質、地表面の状況」も考慮してエリア区分する。

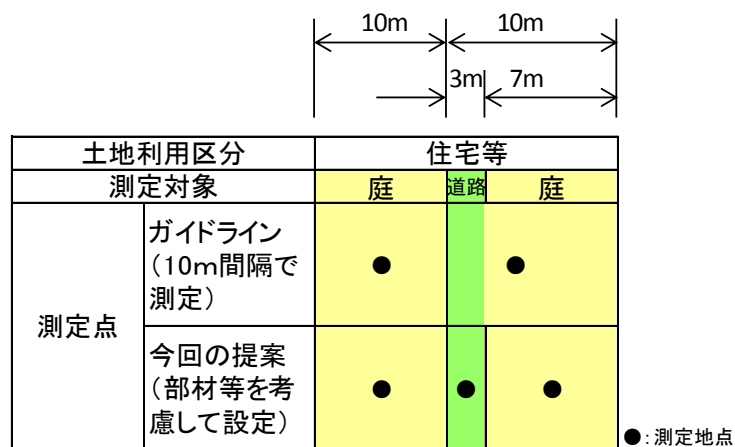



図 1-2　ガイドラインの方法と今回提案の方法による測定点

② 具体的なエリア区分

表 1-1 に具体的な測定対象エリアの区分を示す。エリア区分は、環境省の本格除染の「除染等工事共通仕様書」を参考に分類した。

表 1-1 測定対象エリアの区分

区分No.	土地利用区分	測定対象	部材、材質、地表面の状況
1	住宅地等	屋根・屋上	屋根(コンクリート以外)
2			屋根(コンクリート、セメント瓦)
3			屋根(不明)
4		外壁・塀	土壁・生垣以外
5			土壁
6			生垣
7		雨樋	軒樋
8			竪樋（内側）
9			竪樋（外側）
10		庭等	植栽
11			草
12			芝
13			砂利・砕石
14			土壌
15			舗装面（コンクリート）
16			舗装面（アスファルト）
17	学校	屋根・屋上	屋根(コンクリート以外)
18	公園		屋根(コンクリート)
19	大型施設		屋根(不明)
20		外壁・塀	外壁、塀、生垣以外
21			外壁、塀（木材、セメント、コンクリート）
22			外壁、塀（タイル）
23			生垣
24		雨樋	軒樋
25			竪樋（内側）
26			竪樋（外側）
27		グランド等（建物以外）	植栽
28			遊具等
29			草
30			芝
31			砂利・砕石
32			土壌
33			舗装面（コンクリート）
34			舗装面（アスファルト）
35		駐車場等	土壌
36			舗装面（コンクリート）
37			舗装面（アスファルト）
38	森林		
39	草地		
40	法面・斜面		
41	道路	ガードレール	
42		側溝等	
43		舗装道路（道路及び歩道）	舗装面（コンクリート）
44			舗装面（アスファルト）
45			未舗装面（土砂系）
46			未舗装面（砂利・砕石）
47	農地	水路	
48		水田	
49		畑	
50		畦畔	
51		牧草地	
52	果樹園	落葉・下草	
53		樹皮	

(2) 測定位置・測定点数の設定

1) 測定点数の基本的考え方

①	測定対象エリアごとに、放射線の測定点数を設定する。
②	測定点数は、測定対象エリアの面積、延長などに応じて設定する。特に広域エリアについては、除染効果の確認のための統計的な処理等を見据えて設定する。

【解説】

① 測定点数の設定

除染を行うにあたっては評価指標を設定し、除染後に除染効果を確認することで、その指標を満足できていることの判断が必要となる。除染効果を確認するためには、測定対象エリアごとに測定点を設定後、除染前後において除染対象物の放射線量を測定し、各測定点における除染前後の放射線量から低減率（除去率）[1]、DF[2]、DRRF[3]などを算出し、測定結果の統計的処理を行い、除染効果を確認する方法や、除染を追加的に実施した場合の前後における低減率（除染率）の標準的な差を設定し、除染の結果、設定した管理値を満足しているかどうか確認する方法がある。

② 測定点数の考え方

測定点は点数を多くすることでその精度は向上するが、これにより作業量の増大や工期の延長につながる。そこで、本手引書では、合理的な測定点数を除染対象物の放射線量（汚染の程度）が確からしいと判断できる測定点数と考え、測定対象エリアの面積、延長などに応じて設定する。具体的には、測定対象エリアが概ね 2,000m² 以上または延長 100m 以上[4]の面的広域箇所については、除染効果の確認のための統計的な処理等を見据えた測定点数とし（詳細は(2)2)）、概ね 2,000m² 未満または延長 100m 未満の面的狭隘箇所については、測定対象エリアを代表できる測定点数とする（詳細は(2)3)）。

なお、「除染関係ガイドライン　第 2 編除染等の措置に係るガイドライン」や「福島県除染業務に係る技術指針」にも測定位置・測定点数が示されている。手引書の作成に当たっては、これらのガイドラインおよび技術指針を参考に測定位置・測定点数を検討し、合理的な測定点数の検証を行った（詳細は(2)2)，3)）。

[1] 低減率（除去率）：（除染前測定値-除染後測定値）／除染前測定値で算定される。

[2] Decontamination Factor（除染係数）の略　：除染前計数率／除染後計数率　で算定される。

[3] Dose Rate Reduction Factor（線量率減少係数）の略　：除染前μSv/h／除染後μSv/h　で算定される。

[4] 概ね 2,000m² 以上または延長 100m 以上：後述する面的広域箇所の測定間隔を用いた場合に 3 点を超える測定点が確保できる面積または延長の目安として設定した。

2）面的広域箇所における測定位置・測定点数

①	除染対象物が均一の状態で、除染方法が同様であれば、測定間隔を大きくすることが可能である。
②	測定対象エリアが概ね 2000m² 以上または延長 100m 以上の面的広域箇所については、表 1-2 の測定位置・測定点数（面的エリアについては 30m 間隔のメッシュ状、細長いエリアについては延長 200m 以上の場合は 50m 間隔の直線状、200m 未満の場合は 20m 間隔の直線状）を推奨する。
③	事前（除染前）の測定結果から、ばらつきが大きい場合には、除染前に測定点を追加し、測定メッシュ間隔または測定間隔を狭くする。
④	測定対象エリア内に局所的汚染箇所（ホットスポット）と想定される部分が含まれている場合には、その部分を測定点から除外する。

【解説】

① 測定間隔の検討

除染対象物が均一の状態（例えば、土壌が同一など）で、除染方法が同様であれば、測定間隔を大きくすることが可能であると考えられる。

面的に広域の場所である運動場を対象に、測定間隔を 10m、20m および 30m と変化させた場合の測定データを整理した。

整理した除染後の表面汚染密度のヒストグラムを図 1-3 に示す。ヒストグラムより 30m 間隔の場合でも表面汚染密度の傾向は把握できていると考えられる（詳細は資料 1 参照）。

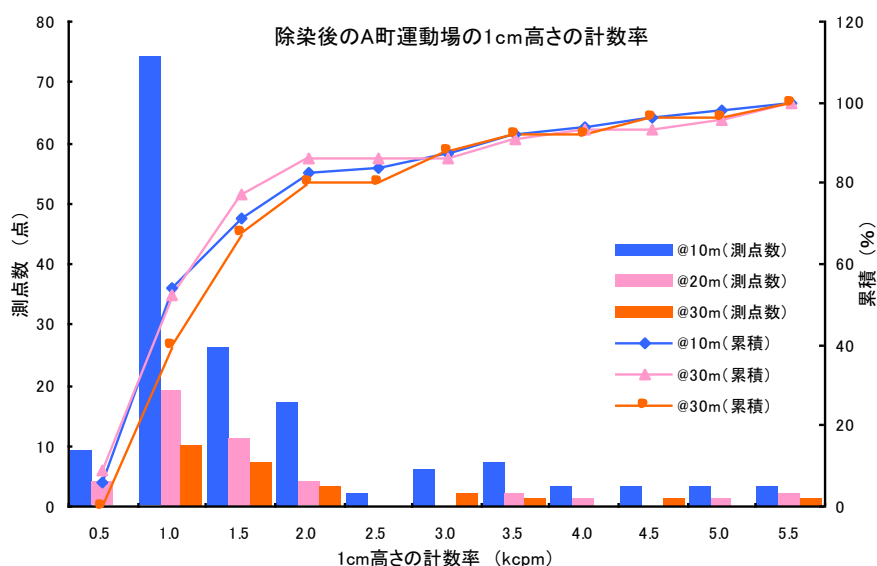



図 1-3 各測定間隔における 1cm 高さの計数率のヒストグラム

（使用データ出典：「JAEA 警戒区域、計画的避難区域等における除染モデル実証事業」）

このような検討は、“(独) 日本原子力研究開発機構　福島第一原子力発電所事故に係る避難区域等における除染実証業務　報告書”においてもグラウンド、運動場を対象とした空間線量率の測定データを用いて、同様な検討が行なわれており、“グラウンドや運動場のような広い平坦面については、極端に高いホットスポットが存在する可能性が低いため、農地と同様に 30m 間隔とすることも可能と考えられる。”となっている。

これらのことから、面的に広域な箇所においては、測定間隔をガイドライン等に記載されている 10m 間隔ではなく、30m 程度まで大きくすることができると考えられる。

②　推奨する測定位置・測定点数

上記①の検討および除染関係ガイドライン・福島県除染業務に係る技術指針を参考に整理した推奨する測定位置・測定点数を表 1-2 に示す。

面的広域箇所が存在する土地利用区分としては、学校、公園、大型構造物（公民館、工場など)、森林、道路、農地などが考えられることから、これらを対象に測定位置・測定点数を整理した。

①の検討より、グラウンド、運動場の推奨測定は 30m メッシュ間隔とした。

農地についても同様な結果が想定されることから、30m メッシュ間隔とした。

道路、水路などの線的エリアについては、本手引書での独自検討は行っていないため、除染関係ガイドライン・福島県除染業務に係る技術指針を参考に延長 200m 以上の場合は 50m 間隔、200m 未満の場合は 20m 間隔とした。将来的に線的エリアの測定データが充実した際は、この測定間隔の妥当性を再検討することが望ましい。

面的広域箇所として、表 1-2 を参考にしたグラウンドの測定位置・測定点数を図 1-4 に示す。

なお、表 1-2 に示した測定位置・測定点数は、本手引書における推奨の測定位置・測定点数である。実際の業務においては、仕様書、設計図書などに測定位置・測定点数が示されている場合には、それらの測定位置・測定点数が優先される。

表 1-2　面的広域箇所の測定位置・測定点数

土地利用区分	測定対象	推奨する測定位置・測定点数	環境省 除染関係ガイドライン (測定点②)	福島県 除染業務に係る 技術指針
学校・公園・大型構造物	柵・塀	20m 間隔の直線状[※1]	空間線量率等の分布が把握できるような間隔で設定（例：5～10m 間隔）	20m 以内については 2 点。以降 10m ごとに 1 点追加
	グラウンド等（建物以外）	30m 間隔のメッシュ状[※2]	空間線量率の分布が把握できるような間隔で設置（10m メッシュ）	10m メッシュ
	駐車場	30m 間隔のメッシュ状[※3]	空間線量率の分布が把握できるような間隔で設置（10m メッシュ）	地面の状態ごとの中心付近 1 点 人が比較的多く時間を過ごすことが想定される場所は、 100m^2 以下：2 点以上 200～300m^2 以下：3 点以上 300～400m^2 以下：4 点以上 400m^2 超え：5 点以上
森林		生活圏から 20m の範囲の中心線に沿って、林縁部及び作業を行う林内中間地点付近において 50m 間隔[※4]	生活圏から 20m の範囲の中心線に沿って、林縁部及び作業を行う林内中間地点付近において 50m 間隔	生活圏から 20m の範囲の中心線に沿って、林縁部及び作業を行う林内中間地点付近において 50m 間隔に設定
草地		30m 間隔のメッシュ状[※3]	空間線量率の分布が把握できるような間隔で設置（比較的広い土地の場合は 10m もしくはそれ以上）	1 区画あたり 10a 以下 1 点、以降 10a ごとに 1 点追加
法面・斜面		車道測点横断方向に対して 切土部：法尻より 1m の位置 盛土部：法肩より 50cm の位置[※1]	—	車道測点横断方向に対して 切土部：法尻より 1m の位置 盛土部：法肩より 50cm の位置
道路	ガードレール	200m 未満は 20m 間隔、200m 以上は 50m 間隔の直線状[※6]	—	—
	側溝	200m 未満は 20m 間隔、200m 以上は 50m 間隔の直線状[※1]	空間線量率等の分布が把握できるような間隔で設定	車道測定点横断方向に対して底盤中心部
	舗装面	200m 未満は 20m 間隔、200m 以上は 50m 間隔の直線状[※1]	道路の路面、路肩、側溝、歩道ごとに空間線量率の分布が把握できるような間隔で設置（例：10m ピッチ程度）	車道：中心部（線）20m ごと 路肩：車道測定点横断方向に対して舗装面と路肩面の接点 歩道：車道測定点横断方向に対して中心部（線）
農地	水路	底盤中心部 50m ごと[※5]	—	底盤中心部 50m ごと
	畦畔	30m 間隔の直線状[※6]	—	—
	水田	30m 間隔のメッシュ状[※3]	空間線量率の分布が把握できるような間隔で設置（比較的広い土地の場合は 10m もしくはそれ以上）	1 区画あたり 10a 以下 1 点、以降 10a ごとに 1 点追加
	畑			
	牧草地			

※1：除染関係ガイドラインおよび福島県除染業務に係る技術指針を参考に設定。今後、データを蓄積し検証が必要。
※2：資料 1 の検討結果により設定。
※3：資料 1 の検討結果と同様な考え方ができると考え設定。今後、データを蓄積し検証が必要。
※4：除染関係ガイドラインおよび福島県除染業務に係る技術指針に準拠。
※5：福島県除染業務に係る技術指針に準拠。
※6：今後、データを蓄積し検証が必要。

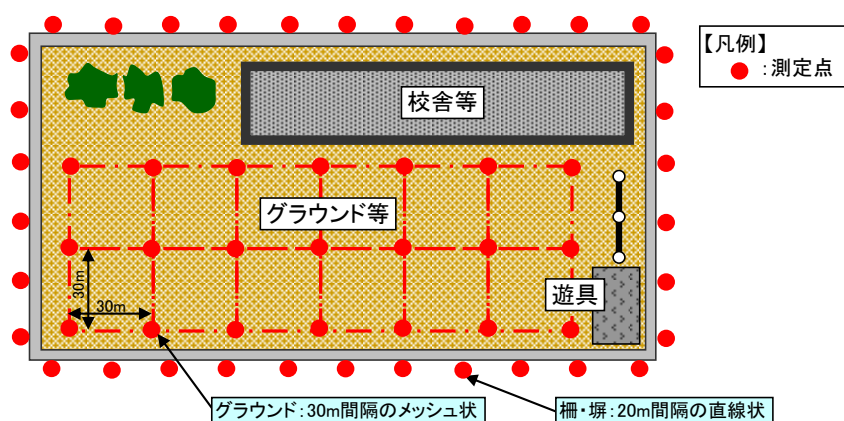



図 1-4　面的広域箇所の測定位置・測定点数の設定例（グラウンド）

③　設定時の考慮事項

測定位置・測定点数の設定については、除染対象物の面積、延長などを念頭に設定することとなるが、事前（除染前）の測定結果で、ばらつきが大きい場合には除染前に測定点を追加するなどの工夫も必要と考えられる。

更に、測定箇所によっては、周囲の建造物、森林、林などからの放射線の影響を受けることが考えられる。図 1-5 はシンチレーションファイバーを用いて除染済みの箇所と未除染の箇所における 1cm 高さの空間線量率を測定した結果である（川内村実証試験による）。その結果、周囲からの放射線の影響が考えられる場合（例えば、除染不要箇所と除染箇所が隣接する場合）には、測定位置を放射線の影響が少なくなる位置（例えば、測定（除染）対象側に 1m 以上）に移動することで、その影響を低減できる。

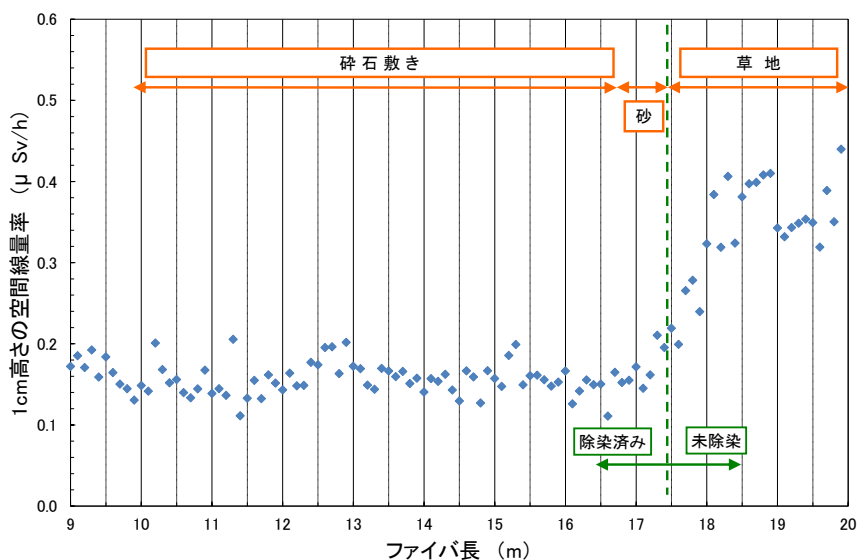



図 1-5　1cm 高さの空間線量率の測定結果

④　局所的汚染箇所（ホットスポット）の扱い

局所的汚染箇所（ホットスポット）については、汚染の状態（例えば、汚染の深度等）が一般的な除染対象箇所と異なり、それに伴い除染方法（例えば、土壌除去の深度等）も異なる。また、ホットスポットは雨だれ部、雨水・泥土などが溜まり易い箇所等が考えられ､他の箇所と比較して放射線量がスポット的に高いことから､別途管理することとなる。

そのため、測定対象エリア内にホットスポットと想定される部分が含まれている場合には、その部分を除外して測定位置・測定点数を設定する。ホットスポットの取り扱いについては、第１章(3)項のとおり、別途管理する。

3）面的狭隘箇所における測定位置・測定点数

① 測定対象エリアが概ね 2000㎡未満または延長 100m 未満の面的狭隘箇所については、そのエリアを代表できる測定位置・測定点数を設定する。代表測定点数が 1 点となる場合には測定点を追加し、エリア内に 3 点以上の測定点を設定することが望ましい。 ② 面的狭隘箇所については、表 1-3 の測定位置・測定点数を推奨する。 ③ 測定対象エリア内に局所的汚染箇所（ホットスポット）と想定される部分が含まれている場合には、その部分を測定点から除外する。

【解説】

① 測定点の設定

測定対象エリアの面積が小さい場合には、測定点が 1 点になる場合がある。しかし、測定点が 1 点では、除染効果を評価する場合、測定値の信頼性が問題となる。そのため、除染効果を評価する場合には、3 点以上の測定点を確保する。

また、材質が多岐にわたる建築関係構造物・工作物（住宅の屋根、外壁など）では、同一の除染方法であっても材質が異なれば測定点を設けることを基本とする。

しかし、測定対象物のうち、異なる材質の占める面積が極めて小さく（例えば、屋根における瓦等と材質の異なる雨押さえ、水路等の目地部等)、周辺の空間線量に与える影響が小さいと考えられる場合には、その材質の測定を省略することも可能である。

② 推奨する測定位置・測定点数

除染関係ガイドラインおよび福島県除染業務に係る技術指針を参考に整理した、土地利用区分、除染対象物ごとの測定位置・測定点数を表 1-3 に示す。

大型構造物の屋根については、材質が同一であれば、測定点は 3 点以上とした。また、屋根には様々な形状が考えられ、例えば、三角屋根の場合には各面で除染効果を判断せず、1 つの屋根全体で判断することから、測定位置・測定点数は、各面の中心付近に各 1 点以上とし、測定対象物の合計が 3 点以上とした。

大型構造物の建物側面についても屋根と同様に、材質が同一で 1 つの建物の全側面で除染効果を判断することから、各面 1 点以上、測定対象物の合計が 3 点以上とした。

住宅の屋根については、大型構造物の屋根と同様な考え方から、測定位置・測定点数を各面の中心付近に各 1 点、測定対象物の合計が 3 点以上とした。

住宅の建物側面についても、大型構造物と同様な考えから、測定位置・測定点数を各面 1 点、測定対象物の合計が 3 点以上とした。

庭等については、様々な形状（細長い形、多角形など）が考えられることから、中央付近に測定点を設定し、面積 300㎡以下は 3 点以上、300㎡超は 4 点以上とした。

草地、農地については、基本的には面的広域箇所と同様な測定位置（間隔）とするが、

形状によっては、推奨する測定位置（間隔）を確保できない場合がある。そのため、確保できない場合には、測定対象に対して測定点数を 3 点以上とした。

なお、表 1-3 に示した測定位置・測定点数は、推奨の測定位置・測定点数であり、実際の業務においては、仕様書、設計図書などに測定位置・測定点数が示されている場合には、それらの測定位置・測定点数が優先される。

面的狭隘箇所としては、宅地等が考えられることから、表 1-3 を参考にした測定位置・測定点数を図 1-6 に示す。

図 1-6　面的狭隘箇所の測定位置・測定点数の設定例（住宅地）

表 1-3　面的狭隘箇所の測定位置・測定点数

土地利用区分	測定対象	推奨する測定位置・測定点数	環境省 除染関係ガイドライン（測定点②）	福島県 除染業務に係る技術指針
学校・公園・大型構造物	屋上・屋根	各面の中心付近に各 1 点以上とし、測定対象エリアでの合計が 3 点以上※1	各面の中心付近に測定点を設定	各面の中心付近に各 1 点
	外壁・柵・塀	建物側面：各面の地表から 1m高さ付近に1点以上とし、測定対象エリアでの合計が 3 点以上※1 柵・塀：20m 以内は 3 点。以降 20m ごとに 1 点追加。※1	建物側面：各面の中心付近に測定点を設定 柵・塀：空間線量率等の分布が把握できるような間隔で設定（例:5～10m 間隔）	建物側面：各面の中心付近に各 1 点 柵・塀：20m 以内については 2 点。以降 10m ごとに 1 点追加。
	雨樋	軒樋：各軒樋 1 点以上とし、測定対象エリアでの合計が 3 点以上※2 竪樋：代表的な流入口・流出口各 1 点※2	—	—
	植栽	主たる樹種 10 本ごとに 3 点（剪定作業のみの場合は免除）※3	—	主たる樹種 10 本ごとに 3 点（剪定作業のみの場合は免除）
	遊具	施設ごとに人が接する箇所を 3 点以上※1	人が接する場所に測定点を設定	施設ごとに 1 点
住宅地等	屋上・屋根	（学校・公園・大型構造物と同様）	（学校・公園・大型構造物と同様）	（学校・公園・大型構造物と同様）
	外壁・塀			
	雨樋			
	庭等：植栽			
	庭等：草	中央付近に測定点を設定※1 300m^2 以下：3 点以上 300m^2 超　：4 点以上	中心付近に測定点を設定（細長い形など四角形でない場合は、中央に沿った場所を選定）	地面の状態ごとの中心付近 1 点 人が比較的多く時間を過ごすことが想定される場所は、 100m^2 以下：2 点以上 200～300m^2 以下：3 点以上 300～400m^2 以下：4 点以上 400m^2 超え：5 点以上
	庭等：芝			
	庭等：砂利・砕石			
	庭等：土壌			
	庭等：舗装面			
草地		30m 間隔のメッシュ状、又は 3 点以上※4	空間線量率の分布が把握できるような間隔で設置（比較的広い土地の場合は 10m もしくはそれ以上）	1 区画あたり 10a 以下 1 点、以降 10a ごとに 1 点追加
農地	水路	底盤中心部 50m ごと、又は 3 点以上※5	—	底盤中心部 50m ごと
	畦畔	30m 間隔の直線状、又は 3 点以上※2	—	—
	水田	30m 間隔のメッシュ状、又は 3 点以上※4	空間線量率の分布が把握できるような間隔で設置（比較的広い土地の場合は 10m もしくはそれ以上）	1 区画あたり 10a 以下 1 点、以降 10a ごとに 1 点追加
	畑			
	牧草地			

※1：除染関係ガイドラインおよび福島県除染業務に係る技術指針を参考に、合計 3 点以上となるように設定。今後、データを蓄積し検証が必要。
※2：今後、データを蓄積し検証が必要。
※3：福島県除染業務に係る技術指針に準拠。
※4：基本的に資料 1 の検討結果と同様な考え方ができると考え設定したが、測定位置（間隔）を確保できない場合には、3 点以上となるように設定。今後、データを蓄積し検証が必要。
※5：福島県除染業務に係る技術指針に準拠したが、確保できない場合には 3 点以上となるように設定。今後、データを蓄積し検証が必要。

③　局所的汚染箇所（ホットスポット）の扱い

局所的汚染箇所（ホットスポット）については、面的広域箇所と同様に別途管理することとなる。

そのため、測定対象エリア内にホットスポットと想定される部分が含まれている場合には、その部分を除外して測定位置・測定点数を設定する。

(3) 局所的汚染箇所（ホットスポット）の扱い

① 局所的汚染箇所（ホットスポット）の測定値、またはホットスポットの影響を受けていると考えられる測定値は、除染対象物の全体的な除染効果の判断のための評価から除外し、個別に評価を行う。 ② ホットスポットは雨水が流れ、落葉や土埃・泥がたまっているところに生じやすい。 ③ 面的広域箇所などでホットスポットと疑われる測定値が計測された場合は、鉛直方向高さの異なる測定値の相関から、直下や周辺のホットスポットの有無を推定できる。

【解説】

局所的汚染箇所（ホットスポット）は放射性物質が局所的に集積した場所である。ここでは視覚的に見分けられるような大きさのホットスポットについて取り扱う。

① 測定値の取り扱い

ホットスポットは念入りに除染を行ったり、周囲と同様の除染を行った場合でも除染前の空間線量率や表面汚染の値が高いことから、除染の効果が周辺より高くなる。

また、測定場所の近くにホットスポットがある場合は、その場所の除染を行った場合でも近くのホットスポットからの影響を受け、その場所の除染の効果が正しく判定できない場合がある。

そのため、ホットスポット部やホットスポットに近い測定場所の測定値は、全体的な除染の効果の確認のための測定値とは切り離して管理、評価しなくてはならない。

② ホットスポットが予測される場所

現在汚染の主要因であるセシウムは、落ち葉や細かい土壌粒子（シルト、粘土や土埃）に付着し残留していることが多い。つまり落ち葉や土埃・泥が溜まったり、長期間堆積している場所がホットスポットとなりやすい。具体例を表 1-4 と図 1-7 に示す。

③ ホットスポットと疑われる測定値が計測される場合

ホットスポットの存在を示す事例として、鉛直方向高さが異なる測定値の差が顕著になる場合（＝直下にある場合；図 1-8）や、逆に差が縮小、逆転する場合（＝周辺にある場合）が挙げられる。（詳細は資料 2、資料 3）

表 1-4　ホットスポットが予想される場所の例

住宅、施設など構造物が中心の場所	雨樋、雨樋の排水口付近
	雨だれ部
	土間コンクリート、タイル、ブロックや飛び石と表土の境目（アプローチ、犬走り部など）
	上記の目地、ひび
	屋根材（瓦、トタン、ポリカ等）の繋ぎ目、こびりついている汚れ
	平屋根の土や落ち葉の溜まっているところ、排水口付近
	金属部の錆
	塀、壁等のかび、コケ
	土埃、落葉等がたまりやすい風溜まり
道路、公園など広い空間	舗装面と表土の境目
	舗装面のひび
	路肩に堆積した土や落ち葉
	側溝、集水枡
	水溜りのできやすい低地、くぼみ
	土手、法面
樹木	根元（幹を流れた雨水がたまる場所）
	表皮のコケ

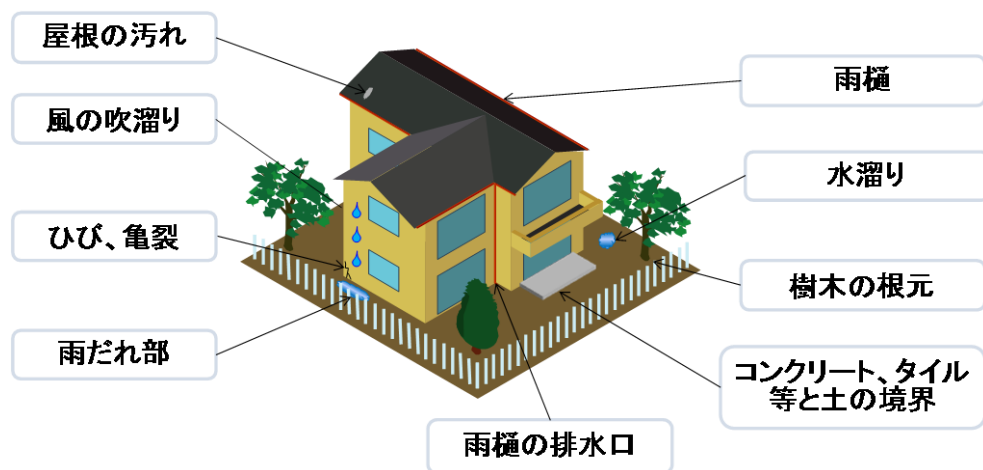



図 1-7　ホットスポットの例（住宅）

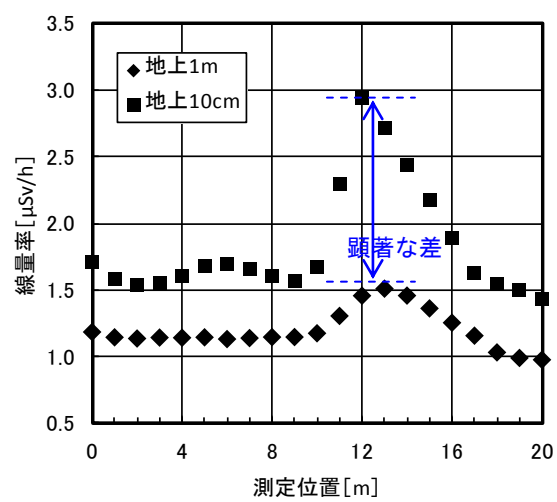



図 1-8　ホットスポットの線量分布

第２章　放射線測定方法の選択

(1) 放射線測定器の選択

除染効果の判定のためには除染前後に除染面の汚染状況を測定する。放射線測定の手法として、測定対象表面からのβ線を評価する表面汚染測定と、表面及び表面から深い位置からのγ線を評価する測定がある。

①　選択する測定器

a）表面汚染を測定する場合： GM サーベイメータ

表面汚染測定には原則として GM サーベイメータを使用する。

b）表面より深い位置の汚染（浸透汚染）を確認する場合：NaI シンチレーションサーベイメータ

汚染が対象物に浸透している場合は、β線は透過力が弱く対象物内部で遮へいされてしまい表面まで到達しないため、GM サーベイメータは適さず、NaI シンチレーションサーベイメータ（原則としてエネルギー補償型とする）を使用する。

②　その他の測定器

本手引書では除染効果の判定を目的として GM サーベイメータと NaI シンチレーションサーベイメータの利用を記しているが、広域な対象を面的に把握できる測定器を参考として紹介する。

【解説】

除染効果の判定のためには、除染作業開始前と除染作業終了後における除染対象場所の放射線測定を実施する。

測定では、測定対象表面からのβ線を評価する表面汚染測定と、表面及び表面より深い位置からのγ線を評価する測定方法がある。表面汚染を測定する場合には、表面汚染から放出されるβ線を特化して測定するために GM サーベイメータを使用する。なお、表面及び表面より深い位置の汚染を測定する場合には、γ線を特化して測定するために NaI シンチレーションサーベイメータを用いる（図 2-1 参照）。これは、表面より深い位置からのβ線は、透過力が弱く対象物内部により遮へいされてしまい表面まで到達しないため、β線を測定できる GM サーベイメータは適さないためである。なお NaI シンチレーションサーベイメータはエネルギー補償機能のあるものを用いる。同様の理由で、天地返し、客土等、除染前に土壌表面にあった放射性物質が、除染後に土壌内部に移行する除染方法を適用した場合、GM サーベイメータを使用した測定は除染効果の判定に適さないため、NaI シンチレーションサーベイメータを用いる。

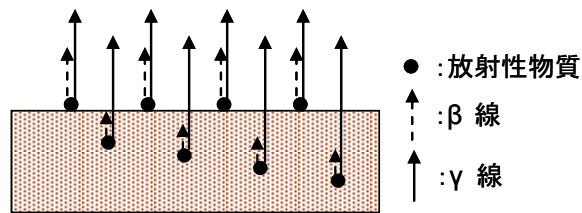



図 2-1　表面から深い位置の汚染

測定対象と汚染形態に応じた測定器区分を表 2-1 に示す。

①　選択する測定器

測定には、JIS 規格又は IEC 規格に準じた測定器を使用することを推奨する。以下に国内で広く流通している測定器を紹介する。

a) 推奨 GM サーベイメータ

JIS Z 4329 放射線表面汚染サーベイメータ 準拠品

名称：GM サーベイメータ

形名：TGS-146B　日立アロカメディカル株式会社製

名称：GM 管式表面汚染測定用サーベイメータ

形名：NHJ120 富士電機株式会社製

b) 推奨 NaI シンチレーションサーベイメータ

JIS Z 4333 X線及びγ線用線量当量率サーベイメータ EⅢ型準拠品

名称：エネルギー補償型γ線用シンチレーションサーベイメータ

形名：TCS-172B　日立アロカメディカル株式会社製

名称：エネルギー補償型γ線用シンチレーションサーベイメータ

形名：TCS-171B 日立アロカメディカル株式会社製

名称：エネルギー補償型γ線測定用シンチレーションサーベイメータ

形名：NHC7 富士電機株式会社製

※：上記以外の測定器の使用を妨げるものではない。

表 2-1　汚染形態に応じた測定器区分

使用測定器	汚染形態	部材、材質、地表面の状況
GM サーベイメータ	表面汚染	アスファルト（不透水性）
		金属
		プラスチック
		ガラス
		タイル
		植栽
NaI シンチレーションサーベイメータ	浸透汚染	コンクリート※
		アスファルト（透水性）
		セメント瓦
		木材
		土壁
		生垣
		砂利・砂
		土壌
		草地・芝地
		落葉・下草

※：経年劣化等により汚染が浸透するか否か判断し難い場合があるため、浸透汚染に分類し、NaI シンチレーションサーベイメータで測定を行うこととした。

② その他の測定器

本手引書では除染効果の判定を目的としてGMサーベイメータとNaIシンチレーションサーベイメータの利用を記しているが、１m高さの空間線量率測定のための測定器と広域な対象を面的に把握できる測定器を参考として紹介する。

a）1m 高さの空間線量率の測定

1m 高さの空間線量率を測定する場合には、γ線を測定できる NaI シンチレーションサーベイメータ等の測定機器を使用する[5]。なお NaI シンチレーションサーベイメータの測定範囲を超えるような場所では、電離箱式線量計の使用を推奨する。

[5] シンチレーション式サーベイメータ（または電離箱式線量計）等を用いて空間線量率をμSv/h 単位の被ばく線量評価に使用する場合は、コリメータ（周囲からの放射線の影響を低減した状態にするために、検出器の周囲を囲む鉛ブロックなどの遮へい体）を使用しない。これは、コリメータを使用しない条件でのみ空間線量率（周辺線量当量率：H*（10））が正しく測定できるからである。

・推奨電離箱式線量計

JIS Z 4333 Ｘ線及びγ線用線量当量率サーベイメータ ＥＩ型準拠品

名称：電離箱式サーベイメータ

形名：ICS-323C　日立アロカメディカル株式会社製

名称：電離箱式サーベイメータ

形名：ICS-331B 日立アロカメディカル株式会社製

名称：1cm 線量当量率電離箱式サーベイメータ

形名：NHA1 富士電機株式会社製

b) 補完して利用できる測定器

汚染状況を面的・効率的・合理的に確認するために有効である、現在実用化されている新型測定器の例を提示する。

■　シンチレーションファイバーを用いた測定器

放射線で発光する特殊な光ファイバーを検出部として用いた測定器で、検出部が長くひも状で軽量なため、狭隘部、水分の多い場所、水中、高所、湾曲した対象を線状に短時間で測定することができる。

測定対象を連続的に測定できるので、ホットスポットの確認には有効。

本手引書の実証試験で使用し、通常の測定では見落としていたホットスポットを確認できた。

■　ガンマカメラ

ガンマカメラは、測定されたガンマ線がどの方向からどれだけ飛来したか判別することができるため、カメラを測定対象に向けることで、測定対象の表面汚染状態を離れた場所から知ることができる。

除染対象表面を直接測るものではないため除染効果の判定には使用できないが、除染の見える化としては有効な装置である。

■　歩行サーベイ

γ線の測定器、位置確認の GPS、データ記録の PC を組み合わせたシステムが実用化されている。システムは車載型のものや人が背負う型のものなどがある。人が背負う型を本手引書の実証試験で使用した。

歩行サーベイでは歩行に応じて連続的にデータが集約できるので、汚染レベルの傾向や、ホットスポット確認に有効である。

(2) 除染対象場所のアクセス性に応じた放射線測定方法の選択

GM サーベイメータ、NaI シンチレーションサーベイメータを使用しない場合の測定方法例を示す。

① スミア法

表面が円滑な材質の対象物に対して遊離性の汚染を確認するために有効。

屋内の汚染測定にも有効。

② サンプリング法

土壌や水等を試料採取して汚染濃度を測る方法である。

時間とコストが係るが、正確な汚染濃度を知ることができる。

【解説】

① スミア法

スミア法は測定対象の表面をふき取りろ紙等でふき取って、ふき取りろ紙に付着した放射性物質を測定することで表面汚染密度を調べる間接的な方法である[6]。

遊離性の汚染を測定することができるが、測定対象に放射性物質が固着している場合は不向きである。

放射性物質がふき取りで収集できる効率はふき取り効率と定義され、対象物表面の性状で大きく異なる。JIS ではエポキシ樹脂　塗装面やビニール床シート等で 0.5、それ以外の面や実験的に評価されていないときは 0.1 をふき取り効率に用いることになっているが、今回のように屋外を対象にした事例ではさらに効率が下がる場合も想定すべきである。

除染対象場所の比較に用いるのではなく、個々の除染場所において遊離性の汚染が除去できたかの判断には使用可能である。

スミア法を使用して判定しやすい対象としては、ガラス面、塗装面、プラスチック・樹脂面、ビニール面等が考えられる。

建物のガラス窓(屋外面)、円滑な材質の外壁、円滑な材質の屋根には適用が可能である。屋内は空間線量率で除染後の測定をしている場合が多い。しかし、内部被ばくの観点から屋内のスミア測定は意味があると考える。

現在本格除染が実施されている場所では、スミア法はあまり利用効果がないと思われるが、高汚染エリアの除染が行われる場合に屋内の汚染検査として利用可能な方法である。

② サンプリング法

土壌等をサンプリングして放射性物質濃度を測定することもできる。

[6] JISZ4504「放射性表面汚染の測定方法」

土壌に限らず、測定器で直接測定できない状態において、試料をサンプリングしての測定を代替措置として使用できる場合がある。

土壌におけるサンプリングによる放射性物質測定は次のように行われている。

(a) 簡易測定

除染場所の汚染土壌レベルが除染電離則に示す基準を超えているかを判断するために簡易測定法で判定する。

土壌等の簡易放射性物質濃度測定[7]（放射線障害防止上の判断）

Ｖ５容器[8]に土壌等を収納した質量　Ｃkg

容器表面の放射線量率　　　　　　Ａμ Sv/h

測定日に応じた係数　　　　　　　Ｘ　　ガイドライン表１

次式で簡易的に１万 Bq/kg か 50 万 Bq/kg を超過しているかを判定する。

（容器表面放射線量率　Ａ）×（係数Ｘ）／（収納した容器質量Ｃ）　Bq/kg

(b) 精密測定

土壌の除染において、除染前後に土壌をサンプリングし放射能分析をすることで、土壌の放射性物質を評価する。

Ge 半導体検出器による放射性物質濃度測定

Ｕ－８容器（100ml）に資料を充填し測定する。

検出限界は　水　　　～２Bq/kg

土壌　　数十～数百 Bq/kg

測定手順は、日本分析センターの放射能測定シリーズ[9]に従って実施する。

(c) 適用可能な場所

・土壌面の除染効果

土壌面の除染効果を判断するためには有効である。

除染前後で土壌をサンプリングして放射性物質を測定することで除染効果を判断できる。

ただし、天地返しの場合は、放射性物質を除去しておらず、放射性物質を希釈する工法なので、除染前の表層の土壌における放射性物質を確認し記録しておくことは、将来の追跡確認を行うために意味がある。

---

7 厚労省： 除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン
http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/anzen/dl/120118-01.pdf

8 Ｖ５容器：丸型Ｖ容器（128ｍｍφ×56ｍｍＨのプラスチック容器）

9 財団法人日本分析センター　放射能測定シリーズ　http://www.jcac.or.jp/series.html

(3) バックグラウンド影響の考え方

<table><tr><td>広範囲な環境汚染では、バックグラウンドと環境汚染に起因する放射線との区別が困難である。
① 除染評価のために
バックグラウンドは測定対象物以外からの放射線の影響を意味しており、環境汚染前にも存在しているものである。広範囲の環境汚染がバックグラウンドに加わって、除染効果を確認する測定に影響を与えている。コリメータ等の使用によって、バックグラウンドの影響を軽減することを推奨する。
② ホットスポットに対して
環境汚染の中で局所的に高い放射線量率となるホットスポットが存在する。除染評価に使用する測定場所がこのホットスポットの影響を受けることは避けるべきである。したがって、バックグラウンド影響については、測定場所がホットスポットの付近で無いことを確認するために使用する。</td></tr></table>

【解説】

バックグラウンド

一般的にバックグラウンド（BG）は、放射線測定器自身の持つ放射性物質や電気的なノイズによる計数と周囲から入射する放射性物質からの計数がある。前者については、時間的な変化はほとんど無いと考えられるが、後者は、周囲の状況により大きく変化する。

周囲の状況とは、測定場所における雨、雪等の自然現象に伴う変化と測定対象物の配置が変わることなどが考えられる。また、広範囲の環境汚染の中では、周囲の状況にこの環境汚染よりの放射線も含まれている。

一般的に、放射線測定器は、使用する前に測定場所のバックグラウンド測定を行い、その値を差し引いて正味の測定値として取り扱う必要がある。

広範囲に放射性物質が拡散しているような環境下においては、バックグラウンドと、環境汚染による放射線が加算された状態で測定されている。

ホットスポットのように一部が高放射線量を示す場所での測定値をバックグラウンドとして取扱うと大きな誤差を発生させる。周囲との放射線量の差が無く、付近にホットスポットが存在しないことをバックグラウンド測定によって確認することが必要となる。

また、放射性物質による広範囲な環境汚染が生じていない一般的な状況下においては、バックグラウンドは、できるだけ低い放射線量であることが望ましく、ホットスポットなどがあった場合、除染を行うか若しくは測定場所を変更することが必要となる。

広範囲の環境汚染の中でのバックグラウンド影響は、その測定値が汚染の状況を示した数値となっており、測定対象よりの影響が大きいのか、それとも周囲からの（たとえばホ

ットスポット）影響なのかを確認することに使用する。

上記内容を摸式的に示す。

放射性物質による汚染が無いエリアを考えてみる（図 2-2）。

バックグラウンドの測定を５回実施し、平均値が 0.12μSv/h、ばらつき（バックグランドの標準偏差×３）が 0.03μSV/ｈであった場合を例にとる。

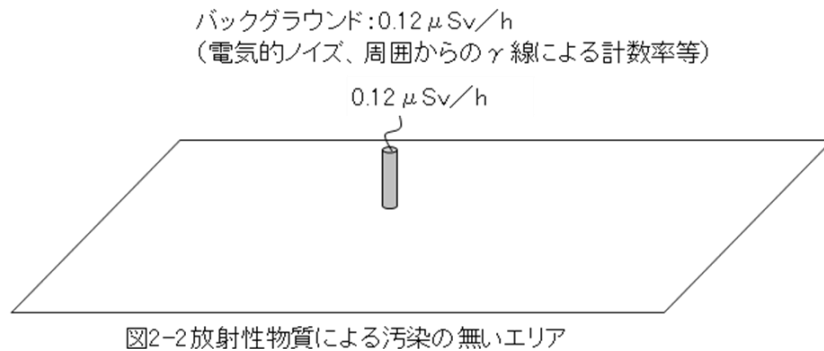
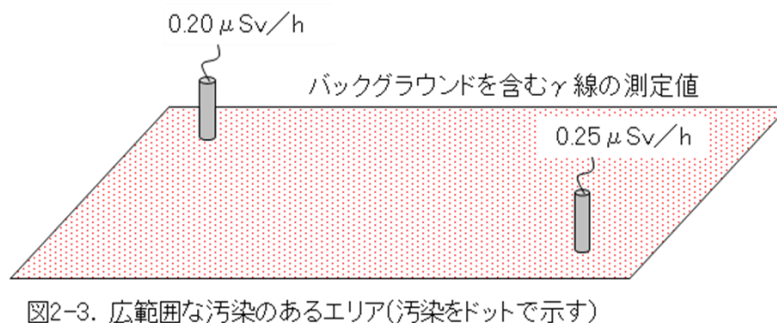
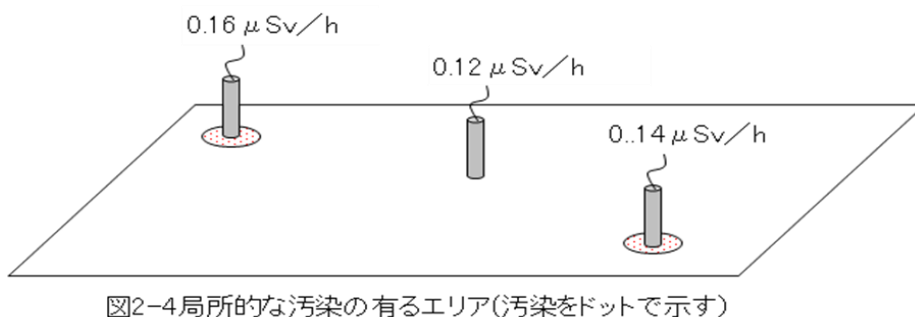
図2-2 放射性物質による汚染の無いエリア

この場所に広範囲な放射性物質の汚染がある場合は、除染対象場所以外からの影響を取り除くことが難しいので、測定値をそのまま評価に使用する（図 2-3）。

図2-3. 広範囲な汚染のあるエリア（汚染をドットで示す）

この場所に部分的汚染があった場合はバックグラウンドと比較して汚染が有意か否かを判断することは可能である（図 2-4）。

バックグラウンド（0.12μSv/h）＋ばらつき（0.03μSv/h）を超える測定が汚染と判定できる。図 2-4 の場合は、0.16μSv/h の測定点が汚染していると見なせる。

図2-4 局所的な汚染の有るエリア（汚染をドットで示す）

GM サーベイメータ等で、β線を対象として測定する場合などでは、測定場所周囲での影響について情報として使用する。

バックグラウンドは、計数率が低く、放射線測定器の最高感度のレンジで測定されることが通常であるが、環境汚染により高い線量となっている場合は、測定される線量に対応したレンジとする。

放射線測定器は、測定値を読み取り安くするために、時定数により計数を平滑化している。時定数を選択できる放射線測定器もあるが、使用するレンジに合わせて自動的に設定される放射線測定器もある。時定数は、取扱説明書等に記載されているので参照願いたい。

放射線測定器には計数率計が使用されており、大きな時定数（秒）を選択すると指示値のふらつきは安定するが、計数率の変化に対する応答速度が遅くなる。

計数率の変化に対する応答は、時間を t とすれば計数率が増加するとき $1-e^{-t/\tau}$ となるため、選択した時定数（秒）の 3 倍（約 95%）～5 倍（約 99%）程度の時間をおいてから測定値を読取らないと大きな誤差を生じることになる。図 2-5 に時定数 30 秒の場合の指示値の応答性を示す。

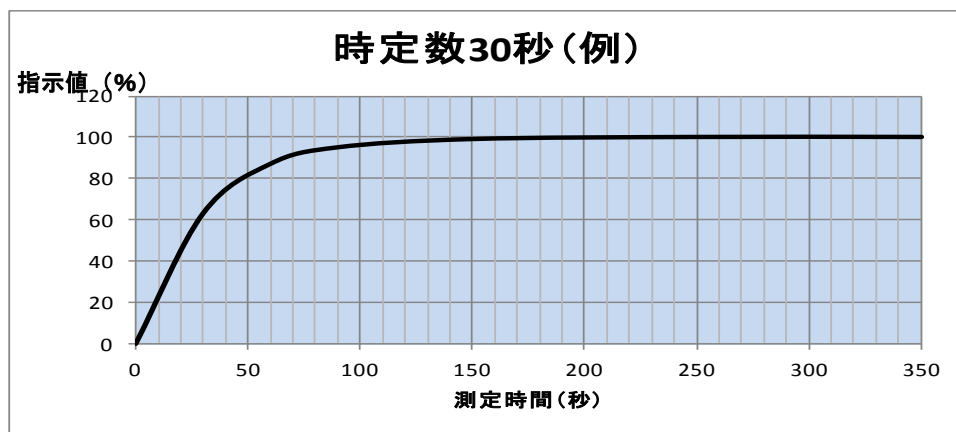



図 2-5　時定数 30 秒の場合の指示値の応答性

(4) 周辺影響の低減方法

> 放射線測定時に周辺からの放射線の影響を低減するため、以下の方法を推奨する。なお、同一の測定点では同一の低減方法を行うことが重要である。
> ① GM サーベイメータ使用時の周辺影響低減方法
> 　コリメータを使用せず、GM サーベイメータの検出器と測定対象間にアクリル板を置き測定を行う。アクリル板の有無の差をとることにより、周辺からの放射線の影響を除外する。
> ② NaI シンチレーションサーベイメータ使用時の周辺影響低減方法
> 　コリメータを使用することにより、周辺からの放射線の影響を低減する。

【解説】

福島第一原子力発電所の事故によって、当該原子力発電所周辺には放射性物質が広く拡散しているため、対象地点の汚染の程度をより特化して確認する方法として、検出器の周囲をコリメータ（鉛ブロックなどの遮へい体）で囲み、周辺からの放射線の影響を低減した状態で測定し除染効果（除染作業前後の相対値）を評価する方法が紹介されているが、本手引書では実証試験の結果から下記の方法を提案する。なお除染作業前後における評価の整合性を得るためには、同一の測定点で同一の測定方法を行い、その測定結果の比率から除染効果を求めることが重要である。

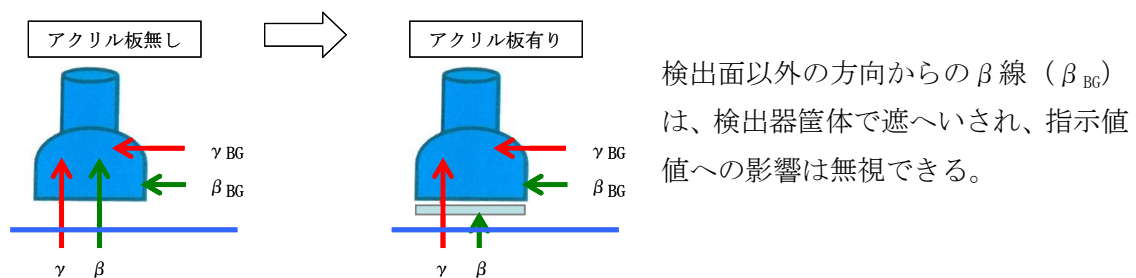
① GM サーベイメータ使用時の周辺影響低減方法

コリメータを使用せず、GM サーベイメータの検出器と測定対象間に、測定対象からのβ線をカットする 2mm 以上の厚さのアクリル板を置き測定を行う。これにより、アクリル板を置いていないときの測定値と、アクリル板を置いたときの測定との差をとることで、測定対象からのβ線のみを評価できる（図 2-4）。

アクリル板は測定面を覆える大きさで厚みが 2 mm以上のものを用意すること。

ただし、今後の知見により高線量率下においては GM サーベイメータにコリメータを使用することは考えられる。

検出面以外の方向からのβ線（β_{BG}）は、検出器筐体で遮へいされ、指示値への影響は無視できる。

図 2-4　アクリル板の使用

正味の指示値（測定対象からのβ線）＝アクリル板なしの測定値（$\gamma+\beta+\gamma_{BG}+\beta_{BG}$）

－アクリル板ありの測定値（$\gamma+\gamma_{BG}+\beta_{BG}$）

② NaI シンチレーションサーベイメータ使用時の周辺影響低減方法

コリメータを使用し、NaI シンチレーションサーベイメータの検出器の周囲を鉛で囲うことにより、周辺からのγ線の影響を少なくして測定を行うことができる。ただし、その際には、指示値はμSv/h の単位等で得られるが、除染効果の比較としてのみ使用し、被ばく線量評価には用いないこと。

なお、コリメータを使用せずに測定を行うことも可能であるが、コリメータを使用した測定と得られる結果が異なるため、除染前後の同一の測定点ではコリメータの使用有無を統一する。また、コリメータ使用時には同一のコリメータを使用する。

また、コリメータ使用時には、周辺からのγ線の影響が少なくなり、測定対象に特化した評価が可能であることから、除染開始前における測定対象の汚染の有無を確認するために利用することができる。

使用するアクリル板やコリメータは放射性物質が付着すると測定誤差になるので、適時に紙ウエス等でふき取りを行うことが望ましい。

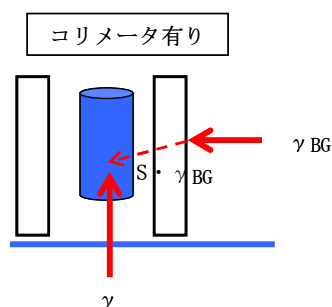



図 2-5　コリメータの利用

仕様：エネルギー補償型γ線用シンチレーションサーベイメータ（TCS-171B、TCS-172B）用

寸法：約 W 255×D 89.1φ×H 129.1 mm

鉛厚：10 mm

重量：10.8 kg

図 2-6　コリメータ例

表 2-2　鉛厚毎の ^{137}Cs　γ線透過率（参考）

鉛厚(mm)	1	2	3	5	7	10	20
透過率	0.91	0.82	0.74	0.61	0.50	0.37	0.14

半価層（透過率＝0.5）を 7 mm として以下の式から透過率を算出

透過率＝$0.5^{(t/7)}$　、t：厚さ(mm)

なお、上記の値は理論値であるため、実測値での確認を十分行って使用すること。

表 2-3　舗装面（コンクリート）における遮へい方法の違いによる測定結果
(NaI シンチレーションサーベイメータ)

遮へい方法	測定タイミング	測定ポイント						
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
コリメータ無し	除染前	0.37	0.19	0.23	0.21	0.19	0.24	0.19
	後除染	0.18	0.14	0.18	0.16	0.15	0.16	0.14
コリメータ有り	除染前	0.13	0.06	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07
	除染後	0.07	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06

※：コリメータを使用すると、測定ポイント②～⑦において、バックグラウンドレベルの指示値（0.05～0.08）となり、除染対象から外すことができる。

※：コリメート　鉛厚：10 mm

第３章　放射線測定の実施

(1) 測定のタイミング

除染効果確認のための測定時期は、除染前、除染後に実施する。 ・　除染前の測定により、除染の対象場所に汚染がないことが確認できた場合は、除染対象場所を修正することも可能である。 ・　測定対象場所の周辺で除染が継続している場合は、周辺の除染が当該除染後の測定に影響がないことを確認して行うこと。 ・　除染前と除染後は測定の条件を同じにすることが重要である。

【解説】

測定の実施タイミングは、除染作業の進捗状況に応じ、概ね３段階に分けて行う。各測定の実施タイミングは、図 3-1 のとおりである。

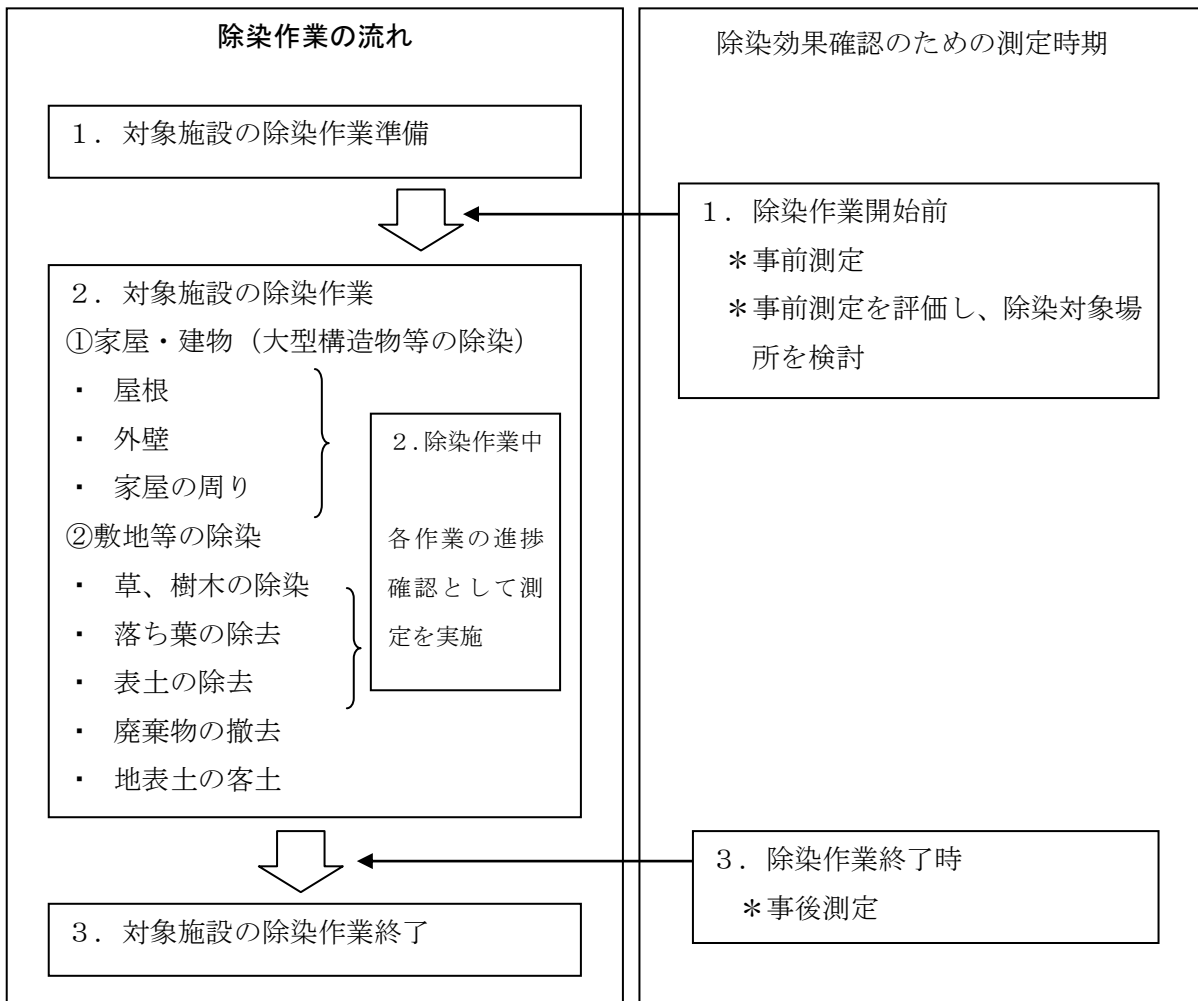



図 3-1　除染作業の流れ

①　除染作業開始前

・　除染作業開始前測定が行われてから、実際の除染作業までの期間はなるべく短いほうが望ましい。なんらかの事情で除染作業が長期間遅れた場合は、一部を再測定して変化を確認することが望ましい。

・　除染効果を確認する測定項目は、１cm 高さの線量率および表面汚染である。

・　実証試験の例では、建物の壁を GM サーベイメータとアクリル板を用いて測定し、建物の壁に汚染がないことが確認できた。この場合では、建物の壁を除染する必要がないと判断可能である（資料９参照）。

②　除染作業中

・　除染作業中の測定は、除染が適切に行われて効果を上げているか、追加の除染が必要か等の評価および判断のためのものであるから、最終的な除染効果確認のためのデータとしては扱わない。

・　除染中に除染効果を確認する場合の測定項目は、１cm 高さの線量率・表面汚染である。

③　除染作業終了時

・　除染作業終了後に除染後測定までの期間はなるべく短いほうが望ましい。
ただし、水を用いる除染を行った場合は、原則として十分に乾燥した後に測定する。

・　除染効果を確認する測定項目は、１cm 高さの線量率および表面汚染である。
測定条件を除染前測定と同じにすることが重要であり、そうでなければ正確な除染効果の確認はできない。

・　除染後に客土等を行う場合は、客土することにより放射性物質が表層に存在しないため、除染効果確認は浸透汚染の評価と同様に NaI シンチレーションサーベイメータを用いて行うべきである。

・

(2) 放射線測定の条件

① 共　通
- 測定機器は同一の測定点における除染の前後（除染の期間中）で同一のものを用いること。
- 測定機器は汚染防止のための措置を施すこと。
- 測定は平坦な面で行うこと。
- 測定機器を使用する際には、取扱説明書に記載された注意事項に従うこと。

② 気象条件等
- 降雨・降雪時や強風時には、原則として測定を行わないこと。
- 除染によって測定地点が濡れている場合は測定を行わないこと。
- 測定機器は使用温度範囲を超える所での測定は原則として行わないこと。
- 測定時には気温・湿度・天候等の気象条件に関する記録を必ず残すこと。

③ 機器の状態（感度・校正）確認
- 使用する測定機器は、年に１回以上定期的に校正を行い、要求されている性能を満たすことを確認すること。
- 日常点検として、電池残量、HV、ケーブル・コネクタの破損、スイッチの動作等の点検及び点検場所での測定（動作確認として）を実施すること。

【解説】

① 共通

除染作業における除染効果を確認するために、除染作業開始前と除染作業終了後における空間線量率や除染対象の表面汚染密度等を測定する。使用する測定機器はそれぞれ特性が異なるため、除染作業前後における測定結果の整合性を得るためには、同一の測定点での測定には、基本的に同一形式の測定機器を用いる。また可能であれば同一シリアル No.の測定機器を用いる。

除染現場で測定機器を使用する際には、測定機器本体と検出部をビニール等で覆う（GM サーベイメータの検出面はラップ等の極力薄いもので覆う）等、汚染防止のための措置を施すとともに、空間線量率や表面汚染密度測定する際には検出部は測定対象に平行に、表面より深い位置の汚染を確認する際には検出部は測定対象に垂直にし測定する。なお、測定はくぼみを避け平坦な面で行う。

なお、汚染が浸透する材質の測定は、浸透した場所からのβ線を、GM サーベイメータが正しく測定できないので GM サーベイメータの測定は参考値とする。

また、測定機器を使用する際には以下の点に注意するほか、取扱説明書に記載された注意事項に従う。

- プローブのコネクタの抜き差しは必ず電源を切ってから行う。
- 測定機器を使用しているときに電池を抜かない。
- 湿気の多い所、直射日光の当たる所、高温や低温になる所、ほこりの多い所などでの使用、保管は避ける。保管時には乾燥剤と一緒に梱包する。車中に長時間放置しない。
- 検出器をぶつけたり、たたいたり、振動を与えないようにする。
- 電池、AC アダプタは必ず指定のものを使用する。
- 測定機器を長時間使用しないときは電池をすべて取り出し乾燥した場所に保管する。
- 強い電波を放射されると誤計数することがあるため、携帯電話、PHS、トランシーバ等に密着して使用しないように注意する。また、屋外作業においては、その無線基地局他、火花放電を起こしたり、強い電波を放出する装置の近辺で使用する場合は十分注意する。

② 気象条件等

降雨・降雪時には測定値が変動する傾向があるため、可能な限り降雨・降雪時には測定は行わないこと。また強風時には、地表の塵の巻き上がりが起こりうるため測定を中断し、測定値の変動を確認して、変動が収束した後に測定を再開する。

また測定機器はそれぞれ使用温度範囲及び温度特性を持っている。取扱説明書に記載された使用温度範囲を超える高温や低温になる所での測定は極力避けるとともに、測定時には気温・湿度・天候等の気象条件に関する記録を必ず残す。

※：温度依存性の許容範囲

JIS Z 4333：-10～40 ℃　±20 %

JIS Z 4329：-10～40 ℃　±20 %

③ 機器の状態（感度・校正）確認

測定機器は、測定環境による検出器の感度変化や電気回路の部品劣化により、指示値が正しい値からずれることがある。このため、定期的に校正して精度を確保することが望ましく、具体的には日本工業規格（JIS）等の校正手法に準拠した校正を年１回以上行い、要求されている性能を満たすことを確認すること。

日常点検として、電池残量、HV、ケーブル・コネクタの破損、スイッチの動作等の点検及びバックグラウンド計数値の測定（バックグラウンドが大きく変化しない同一の場所で行い、過去の値と比較して大きく変化が無いことを確認）を実施し、異常・故障の判断の目安とする。

(3) 具体的測定方法

① 測定ポイントのマーキング
・ 測定ポイントは、除染作業前後での測定ポイントが変わらないよう、基点を定める。
② 放射線測定器の選択
・ 第2章(1)放射線測定器の選択を参考にし、GM サーベイメータまたは NaI シンチレーションサーベイメータを選択する。
③ 測定
・ 時定数 10 秒で測定を行う。
・ 測定箇所における指示値の読取開始は、時定数の 3 倍（30 秒）経過後から行う。
・ 複数回指示値を読み取る際には、時定数の 3 倍（30 秒）の間隔で読み取り、その平均値を指示値とする。
・ 指示値に校正定数を乗じた値を測定値とする。

a）GM サーベイメータ使用時
- ➢ 検出器が汚染されないように注意し、検出面を測定対象に平行にし、1cm の高さで行う。
- ➢ コリメータは使用せず、2mm 以上の厚さのアクリル板の有無で 2 回測定し、その差を正味の指示値とする。

b）NaI シンチレーションサーベイメータ使用時
- ➢ 検出器が汚染されないように注意し、検出器を測定対象に垂直にし、1cm の高さで行う。
- ➢ コリメータを使用する。

【解説】
① 測定ポイントのマーキング
　測定ポイントは、除染作業前後での測定ポイントが変わらないよう、基点を定め、それを中心として、測定箇所毎にマーキング等を設けることが必要である。また、マーキング時間が経つに従い、不明確または消えることもあり得るので、その基点から測定ポイント間の座標を事前に測定しておき、その数値を測定ポイントの位置情報として記録することにより特定しておく。

② 放射線測定器の選択
　第2章(1)放射線測定器の選択を参考にして、汚染形態が表面汚染の場合は GM サーベイメータを、浸透汚染の場合には NaI シンチレーションサーベイメータを選択する。

③　測定

a）GM サーベイメータ使用時

測定する際には検出面を測定対象に平行にし測定する。

測定時には測定機器が測定対象に触れ汚染されないように注意し、測定対象から検出面までの距離を 1 cmで行う。GM サーベイメータはβ線を測定するため、測定対象からの高さが異なると計測値は有意に違ってくる。また、GM サーベイメータの検出面は破損しやすいため、突起物等に触れないよう注意する。

測定箇所における指示値の読取開始は、検出面を測定対象から 1cm の距離に設置後、時定数の 3 倍経過後（時定数が 10 秒の場合は 30 秒後）から行う。測定器メーカーの取り扱い説明書では時定数 30 秒を用いるように示されているが、実証試験の結果から時定数 10 秒の測定で十分評価可能である（表 3-1 参照）。複数回指示値を読み取る際には、時定数の 3 倍（30 秒）の間隔で読み取り、その平均値を指示値とする。指示値に校正定数を乗じた値を測定値とする。なお取扱説明書等に環境条件に対する補正係数等の記載がある場合はそれも考慮する。

測定機器の指示値が振り切れる場合はレンジを切り替えて測定し、最大レンジでも振り切れた場合には、そのレンジ最大値以上と読み取るか、他の機種の測定機器を用いて測定する。

測定は、コリメータを使用せず、GM サーベイメータの検出面と測定対象間に 2mm 以上の厚さのアクリル板を置いた測定と、アクリル板を置かない測定を行い、以下の式から正味の指示値を算出する。

検出面以外の方向からのβ線（β バックグラウンド）は、検出器筐体で遮へいされ、指示値への影響は無視できる。

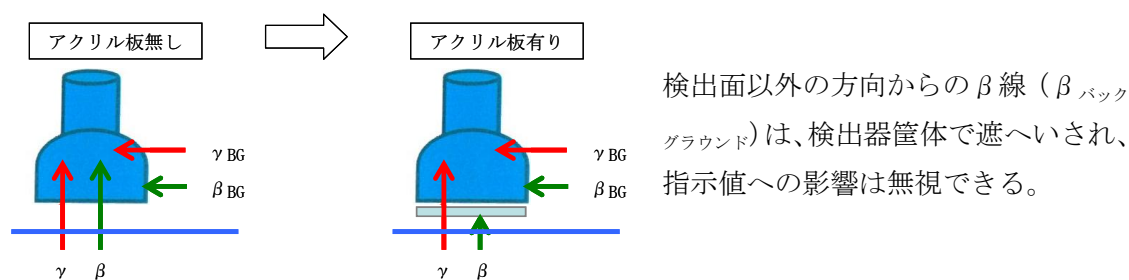



図 3-2　GM サーベイメータの測定

アクリル板無しの指示値	X_1
アクリル板有りの指示値	X_2
正味の指示値	X_0

$X_0 = X_1 - X_2$　　が正味の指示値となる。

表 3-1　時定数と標準偏差（GM サーベイメータ）

時定数	標準偏差
3 秒	22.01
10 秒	11.97
30 秒	15.81

注）実証試験の結果（線量率が 0.2～5.0μSv/h のレベル）

b)　NaI シンチレーションサーベイメータ使用時

測定する際には検出器を測定対象に垂直にし測定する。

測定時には測定機器が測定対象に触れ汚染されないように注意し、測定対象から検出器までの距離を 1 cmで行う。ただし、コリメータの使用により測定位置が特定の高さに固定される場合は、その限りではない。

測定箇所における指示値の読取開始は、検出器を測定対象から 1cm の距離に設置後、時定数の 3 倍経過後（時定数が 10 秒の場合は 30 秒後）から行う。実証試験の結果から時定数 10 秒の測定で十分評価可能である（表 3-2 参照）。複数回指示値を読み取る際には、時定数の 3 倍（30 秒）の間隔で読み取り、その平均値を指示値とする。指示値に校正定数を乗じた値を測定値とする。なお取扱説明書等に環境条件に対する補正係数等の記載がある場合はそれも考慮する。

測定機器の指示値が振り切れる場合はレンジを切り替えて測定し、最大レンジでも振り切れた場合には、そのレンジ最大値以上と読み取るか、他の機種の測定機器を用いて測定する。

コリメータを使用した際には、指示値はμSv/h の表示で得られるが、除染効果の比較としてのみ使用し、被ばく線量評価には用いないこと。

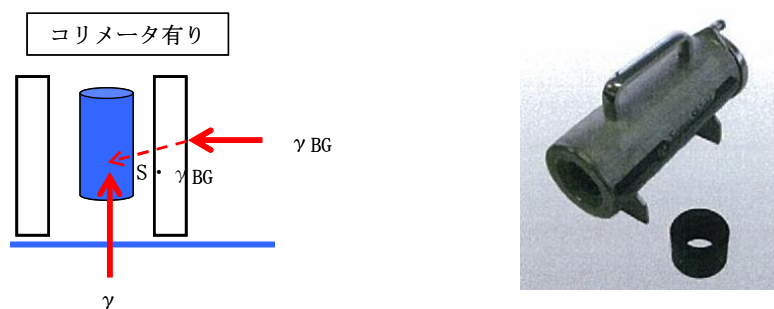



図 3-3　NaI シンチレーションサーベイメータの測定

表 3-2　時定数と標準偏差（NaI シンチレーションサーベイメータ）

時定数	標準偏差	
	コリメータ有り	コリメータ無し
3 秒	0.03	0.02
10 秒	0.01	0.01
30 秒	0.01	0.01

注）実証試験の結果（線量率が 0.2～5.0μSv/h のレベル）

(4) 記録の作成

① 記録に要求される項目は次の事項である。
除染前後で同じ測定が可能となる情報があること。
測定値の評価をする上での情報があること。
集計の効率化を図るため、表計算ソフト等への入力がされること。
② 記録項目
測定日時、天候、気温、湿度
測定者名、使用測定器の種類と識別番号
測定場所（測定場所の略図に測定点を図示、必要に応じて写真記録）
測定値（測定位置：1cm 高さ）、測定面の状態
コリメータの有無（コリメータの仕様）
測定の時定数、校正定数
③ 有効数字
記録する測定値の有効数字は 2 桁を推奨する。

【解説】
① 記録に要求される項目（現状と課題）
除染に関する空間線量率や除染対象の表面汚染密度の測定は、ガイドラインや発注仕様書で示されており、その記録項目は一定ではない。評価に必要な最小記録項目の提示が望ましい。

除染関係ガイドラインでは、次のように示されている。
略図等に記載した各測定点、各測定点での空間線量率等
測定日時、用いた測定器

JAEA 除染モデル実証事業では、除染の基礎データを得るために詳細な記録をしており、次の項目が記録されている。
市町村名、測定者名、測定日時、気象（天候、風速、風向き、気温）
区域番号、測定点番号、場所位置（北緯、東経）
土地用途、舗装状況、地表の乾湿
表面汚染密度（GM 管型番、シリアル番号、レンジ、遮へい有無、測定値）
線量率（測定器型式、シンチ型番、シリアル番号、レンジ、遮へい有無、1cm 高さの線量率、空間線量率、地表高）

② 記録項目

除染に関わる測定は、「除染作業開始前（事前測定)」、「作業中測定」、「除染作業終了時（事後測定)」がある。

除染効果を確認するためには、除染作業開始前と除染作業終了時に同じ項目を測定記録して比較することが重要である。

必要な記録項目

測定日時、天候、気温、湿度、測定面の状態（浸透性の有無）

天候、気温、湿度の記録は、β線の測定に特に重要である。

測定者名、使用測定器の種類と識別番号

除染前後で同じ測定器を使用するために重要である。

測定場所（測定場所の略図に測定点を図示、必要に応じて写真記録）

測定場所を特定し、除染前後で同じ測定点で測定するために重要である。

測定値（測定位置：1cm 高さ）

測定値と対象面からの距離を記述する。

測定面の状態

測定面の状態は土壌等の性状を記し、浸透性有無の判断に使用する。

コリメータの有無（コリメータの仕様）

除染前後で同じコリメータを使用するために仕様の記述は重要である。

測定値がコリメータを使用しているかを記述する。

GM サーベイメータに使用するアクリル板の仕様を記述する。

測定の時定数

安定した測定を行うために時定数を記述する。

測定器の校正定数

除染前後の測定に同じシリアル番号の測定器が使用できない場合は除染前後の比較において校正定数は有効である。

③ 有効数字

２桁の取り扱いを推奨する。

測定器によってはデジタル表示で３桁、４桁の値が得られる。

測定値のバラつきを考慮すると評価においては有効数字２桁で十分である。

例) GM サーベイメータでデジタル値 2380cpm が得られた場合、評価には 2400cpm (2.4kcpm) で判断して良い。NaI シンチレーションサーベイメータでデジタル値 2.02μSv/ｈが得られた場合、評価では 2.0μSv/ｈで判断して良い。

④　記録用紙の例

放射線測定記録用紙（GMサーベイメータの例）

測定時期	除染前　・　除染後	測定器型式	GM	
測定者名			シリアル番号	
測定日時	平成　　年　　月　　日	時定数	秒	
	：　～　：	GM用アクリル板	厚み　　mm	
天候		測定面の状態		
気温、湿度	℃　　%	測定の高さ	cm	

測定ポイント	①測定値（cpm）アクリル板 無	②測定値（cpm）アクリル板 有	①－②　（cpm）正味の指示値

測定ポイント図

放射線測定記録用紙（NaIシンチレーションサーベイメータの例）

測定時期	除染前　・　除染後	測定器型式　NaI	
測定者名		シリアル番号	
測定日時	平成　年　月　日	時定数	秒
	:　～　:	校正定数	
天候		コリメータ形式	
気温、湿度	℃　%	測定面の状態	
		測定の高さ	cm

測定ポイント	①測定値（μSv/h）

測定ポイント	①測定値（μSv/h）

測定ポイント図

(5) データの信頼性の確認

放射線の測定では測定値に不確かさが発生する。 除染効果の確認のためには測定値に不確かさがあることを理解して評価することが必要である。 不確かさの主な原因は次の項目である。 ① 測定された値の不確かさ ② 放射線量自体のばらつき ③ 測定器の特性によるばらつき ④ 測定者のヒューマンエラーの可能性

【解説】

放射線を測定する場合には、放射線の特性として測定値にバラツキが生じる。
この測定のばらつきは､特性上除けないものと､単純ミス等のように除けるものがある。
以下に要因毎の特徴を記す。

① 測定された値の不確かさ

・ どのような測定でも測定に伴う不確かさ、すなわち誤差がある。この誤差は技術分野や国によって使われ方が異なっていており、測定データの信頼性を評価・表現する方法の統一に向けた取り組みが行われた。現在は、ISO から国際文書「Guide to the expression of University in Measurement」(測定に於ける不確かさの表現ガイド、GUM と呼ばれる)が発行され、この中で誤差とは、測定値と真の値との差と定義されている。

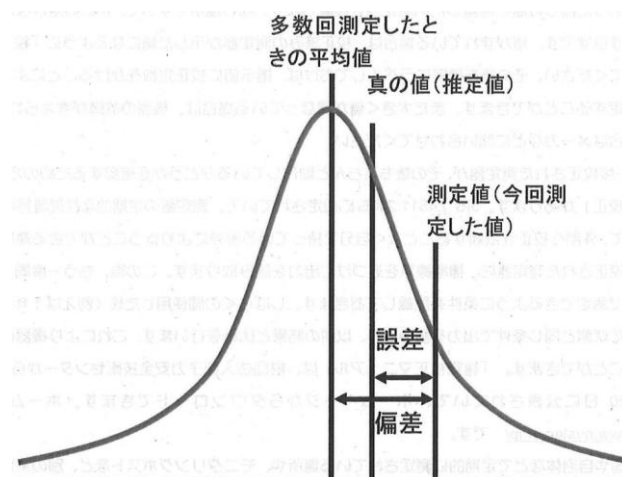



図 3-2 測定値と真の値[10]

[10] 益社団法人日本アイソトープ協会 やさしい放射線測定

・ 測定をするという行為自体にすでに不確実性が含まれてしまっているから、測定で知りうる値は真の値ではなく、真の値に最も近いであろう推定値であると「GUM」では考えている。測定値はこの推定値の近くでばらついていることになる。このばらつきを表しているのが、「不確かさ」になる（図 3-2 参照）。

② 放射線量自体のばらつき

・ 放射線は放射性物質が壊変する際に放出されるが､それらはランダムに発生している。すなわち放射線の強さそのものが、ばらつくことになる。
・ また、ガンマ線など透過力の強い放射線は検出部分に入ったとしても一部しか検知されず、放射線を測定するときには、常に値はばらつくと考えておく必要がある。そのために信頼性のある高い値を得るためには、ある時間間隔で何回も測定を繰り返してその平均値を値として求める必要がある。
・ 本項と前項への対応として、測定値の不確かさのために時定数の３倍を測定時間として、誤差を少なくしている。

③ 測定器の特性によるばらつき

・ 放射線量を測定するサーベイメータは、同一機種によるものでも、指示値に差が生じる。出荷前の校正で個々の機種毎に校正定数を定めている。JIS 規格[11]では許容範囲として 20％以内としているので、この範囲の差が機種ごとにあることになる。
  したがって、除染効果確認のために用いる測定器はシリアル番号も含めて、除染前後で同一機種を使用すること推奨する。
・ エネルギー特性：測定している放射線のエネルギーによって感度が異なる特性である。環境汚染は対象核種が限定されているのであまり考慮する必要はない。
・ 方向特性：同じ線量の場で測定しても検出器に入ってくる方向によって指示値が変化してしまう特性である。機器によるが数％から 50％と性能が異なる（図 3-4 参照）。
  測定器の後方は特性が悪いので、ホットスポットを確認する時などには測定する向きが重要になる。

[11] JIS Z 4511-2005（照射線量測定器、空気カーマ測定器、空気吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法）

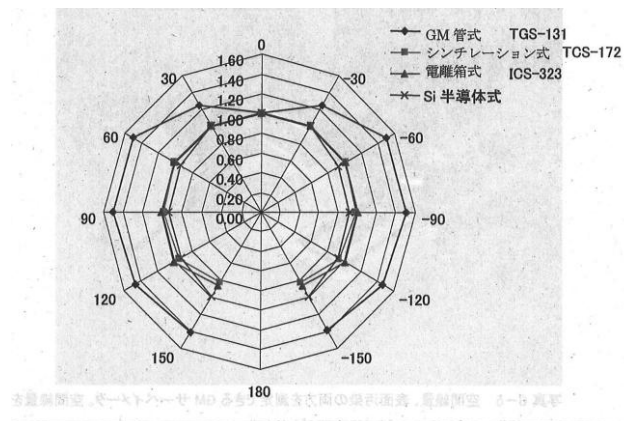



図 3-4　代表的サーベイメータの方向特性

- 参考として川内村実証試験での芝地の除染前後の表面汚染密度および高さ 1cm 位置での線量率の例を図 3-5 および図 3-6 に示す。GM サーベイメータを使用した測定は、ばらつきが NaI シンチレーションサーベイメータのそれより大きい傾向があることがわかる。

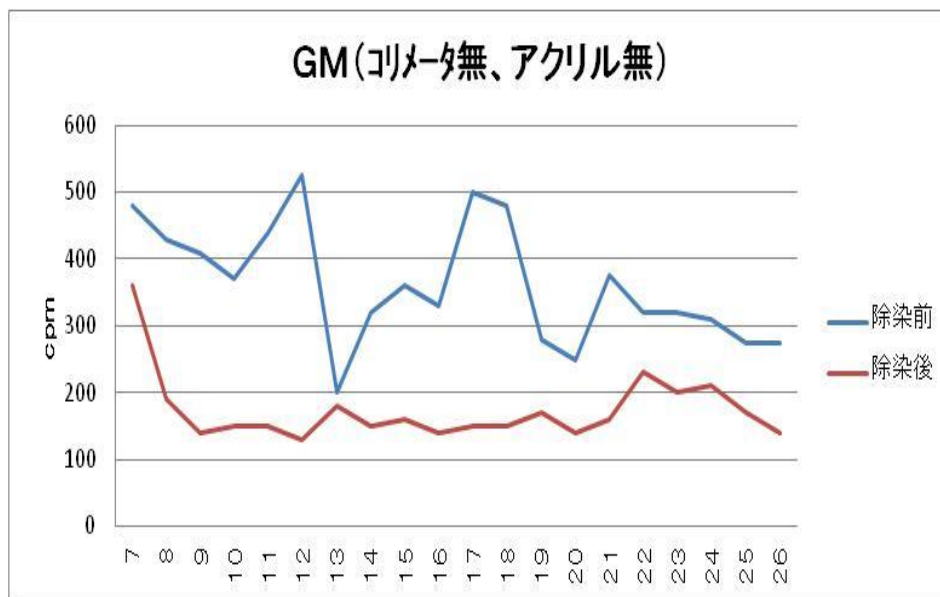



図 3-5　GM サーベイメータ測定例
(川内村　芝地、コリメータ無、アクリル無)

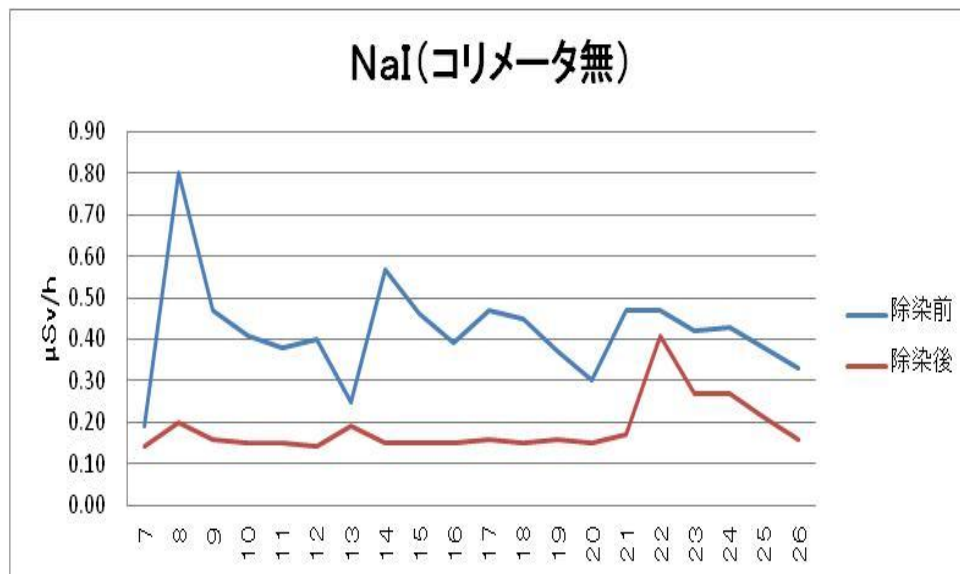



図 3-6　NaI シンチレーションサーベイメータ測定例

(川内村　芝地、コリメータ無)

④　測定者のヒューマンエラーの可能性

- 正しく使用するためには、取り扱い説明書と本手引書で推奨する方法に沿って測定することが望まれる。
  しかし、ヒューマンエラーによりエラー値となってしまうことはある。
  ヒューマンエラーとしては、測定位置のずれ、読み取り者による読み取りずれ（特にアナログ表示の機器では読み取り者によってずれがでやすい)､測定条件が異なっていることへの確認ミス（対象面が濡れていたなど）等がある。
- ヒューマンエラーを見つけるには、近い場所の測定値との比較や、除染後の測定時には除染前のデータを持参して現場で比較するなどが有効である。
  繰り返し測定し平均値をとることも有効である。
- ヒューマンエラーは測定場所ですぐに見つけることが望ましく、事後に見つかった場合は再測定の負担が大きくなる。

第４章　除染効果の確認

除染の効果を正しく評価するためには、そのよりどころとなるデータが、適切である必要がある。また、統一された測定方法により取得したデータでも、周辺の条件によっては、除染効果を評価する上では除外した方が良いものもある。

本章では除染の効果を正しく評価するにあたっての、必要な事項を抽出し、その考え方を示す。

なお、ここに示す方法は、除染作業の施工管理において自主的な管理に活用可能な方法を１つの事例として提案するものであり、最終的な品質管理の手段を強要するものではない。

(1) 除染効果の確認に用いる測定データ

① 除染境界部の測点とホットスポット部の測点を除いた測点の結果により除染効果を確認する。

【解説】

① 除染を適切に行ったとしても、除染境界部とホットスポット部では、他の地点と比べ除染効果の適切な評価ができない可能性がある。

そこで、これらの地点を除いた地点の結果を用いて除染効果を確認する。

このとき、収集したデータは、統計処理ができるように、除染仕様毎に整理する。

データ収集の際、着目する除染仕様項目の事例は資料５を、データの取扱い方法は資料７を参照。

(2) 除染効果の評価方法

① 除染効果を確認するために、下記の2種類の指標を考える。
指標1（管理値）:「除染を追加的に実施した場合の前後における低減率（除染率）の標準的な差」（以後、管理値と記す）を設定し、除染の結果、設定した管理値を満足しているどうか確認する。
指標2（目　標）:「低減率（除染率）」（以後、目標と記す）を設定し、除染の結果、設定した目標を満足しているどうか確認する。
② 評価指標（管理値、目標）は、除染対象物及び除染工法ごとに設定する。

【解説】
①・低減率（除染率）は、（除染前測定値－除染後測定値）／除染前測定値より、算定する。
・低減率の代わりにDF（Decontamination Factor（除染係数）、DRRF（Dose Rate Reduction Factor（線量率減少係数））を適用する方法もある。
DF、DRRFは、以下のよう定義される。
DF　＝除染前計数率／除染後計数率
DRRF＝除染前空間線量率／除染後空間線量率
・環境省の直轄工事の「平成25年 除染等工事共通仕様書（第3版）」は、指標1が評価基準となっている。

(3) 評価指標の設定時期及び確認時期

① 評価指標の設定時期

（ア） 試験施工の結果に基づき管理値を設定する。

（イ） 過去の同一仕様での除染実績に基づき目標を設定する。

（ウ） 仕様書等に基づき目標を設定する。

② 評価指標の確認の時期

（ア）　　　：「事後放射線測定」の後に行う「確認調査」の時に確認する。

（イ）、（ウ）：「除染」の後に行う「事後放射線測定」の時に確認する。

【解説】

① （ア）環境省の直轄工事の「平成 25 年 除染等工事共通仕様書（第 3 版）」によれば、除染工事は、以下の手順で実施される。

a. 試験施工→b. 事前放射線測定→c. 除染→d. 事後放射線測定→e. 確認調査

また、現時点では、目標に関する知見が少ないことから、除染対象物及び除染工法毎に試験施工を実施し、管理値を設定することが基本と考えられる。

（イ）現在十分なデータはないが、今後、同一仕様工事のデータが集積することで、試験施工を行うことなく実績に基づき目標が、設定される可能性がある。(資料 5、資料 6 参照)

（ウ）適用範囲を限定しているが、仕様書等で目標を設定している事例がある。

参考 <<試験施工>>

除染効果に影響を与える要因を変化させた複数の除染手順を設定し、最も効果的な除染手順を決定するために行う。

設定された除染手順で、追加的な除染を実施した場合でも、放射線量の大幅な低下が認められない程度まで除染を実施し、それぞれの低減率を測定する。その結果に基づき効果的な除染手順を決定する。

また、その結果を用いて、管理値を設定する。

<<確認調査>>

実際に実施した除染方法と同じ方法で、再度除染を実施し、その結果得られた放射線量が管理値を満足しているかどうかを確認する調査

※ 環境省の直轄工事の「平成 25 年 除染等工事共通仕様書（第 3 版）」をもとに記載。

(4) 除染効果が小さいと判断された場合の対応

① 除染効果が小さいと判断された場合は、その原因について検討を行う。 検討の結果、評価指標を満足しない原因が除染作業に起因しないものと考えられる場合は、適切に除染作業が行われたと判断する。 ② 更なる除染効果を得たい場合、あるいは、検討の結果、除染不足の可能性があると判断される場合は、発注者と協議の上、発注者の指示により再度除染を実施する。 ③ 追加的な除染を実施しても効果が得られなかった場合、その工法ではその地点の除染対象物における限界と考え、適切に除染作業が行われたと判断する。

【解説】

① 適切に除染を実施しても、評価指標を満足しない場合があるが、この原因として、以下のような影響が考えられる。これらの影響が原因と考えられる場合は、行った除染は適切と判断する。

a) 敷地境界であり除染していない隣接区間の影響をうけていた。

b) 想定より浸透性の高い材料であった。

c) 放射線量が小さいことから、除染しても変化がほとんどなかった。等

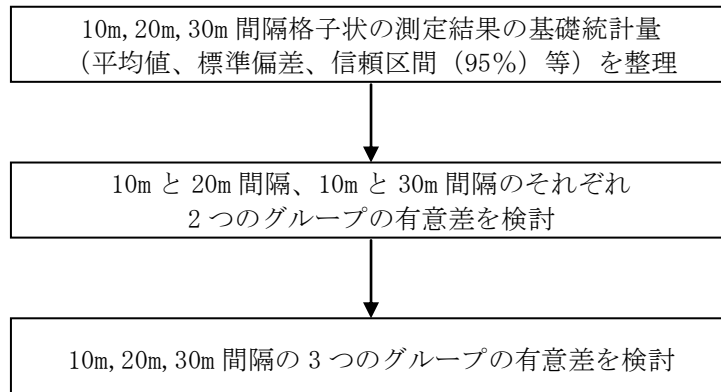
このような場合には、除染効果の評価に使用するデータを吟味したり、アクリル板等を使用した測定値と使用しない測定値の差を計算し、周辺の影響をなくした値で検討することなどが考えられる（川内村の例を資料 9、資料 10 に示す)。また、1 ㎝高さの空間線量率に加え、1m高さの空間線量率の値など、他の測定位置での測定結果も考慮し評価する。

② 追加的な除染を実施する場合は、対象物の特性に配慮し、損傷が懸念される場合は、工法の変更も視野に入れ、発注者と協議の上、慎重に対処する。

資料１　既存の測定結果による測定位置・測定点数の検討

(1) 検討手順

面的に広域の場所であるグラウンド、運動場等を対象に 10m 間隔の格子状の位置で測定した 1cm 高さの計数率および 1cm 高さの空間線量率を用いて、測定間隔を 20m、30m と変化させた場合の測定データを整理し、合理的な測定位置・測定点数を検討した。

検討は、資図 1-1 に示す手順で実施した。

資図 1-1　検討手順

(2) 10m、20m および 30m 間隔の基礎統計量

各間隔で算定した 1cm 高さの計数率、並びに 1cm 高さの空間線量率の基礎統計量を資表 1-1～1-2 に示す。なお使用したデータは「JAEA 警戒区域、計画的避難区域等における除染モデル実証事業」の実績を引用した。

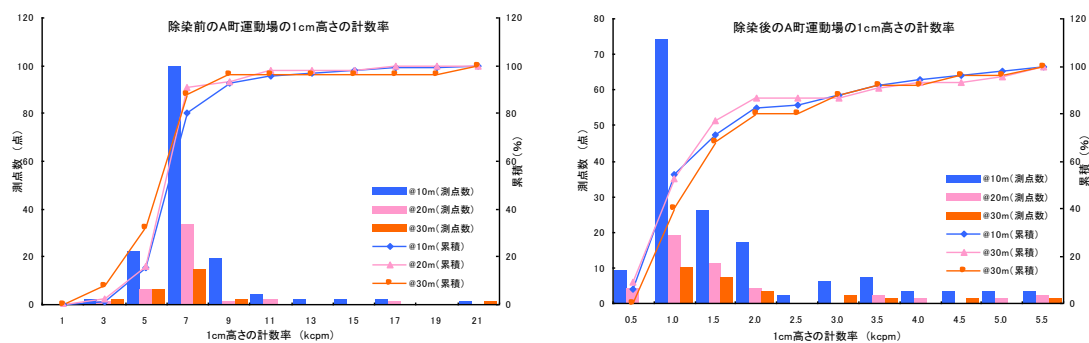
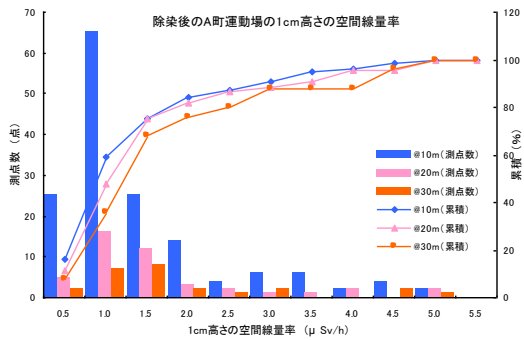
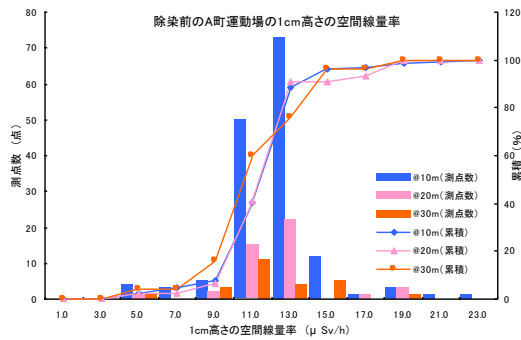
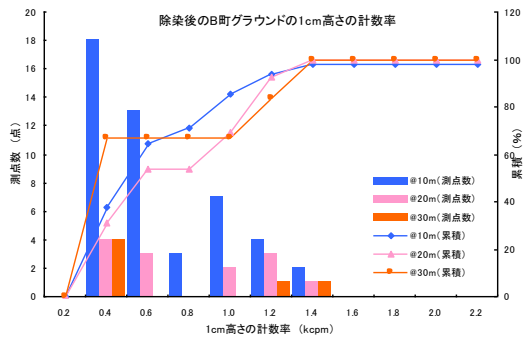
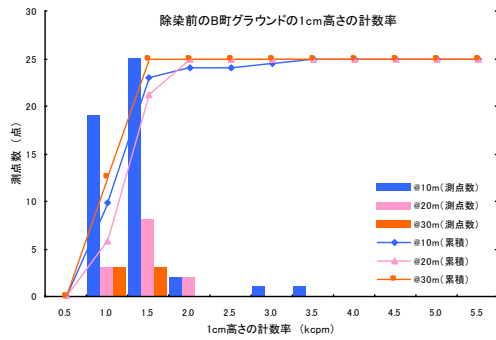
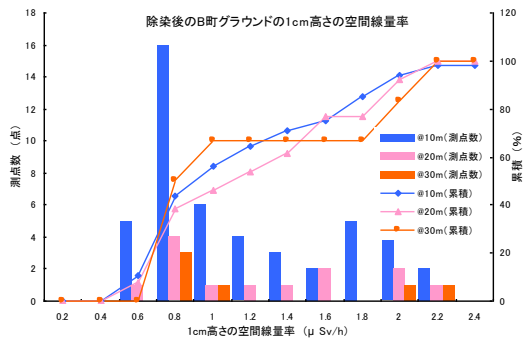
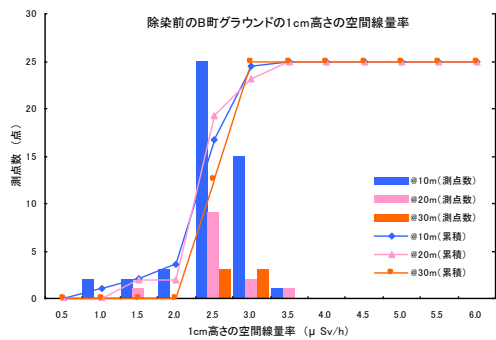
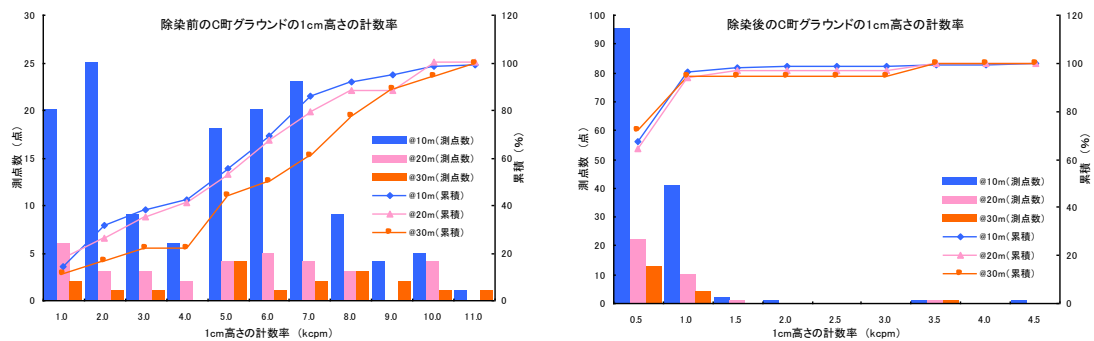
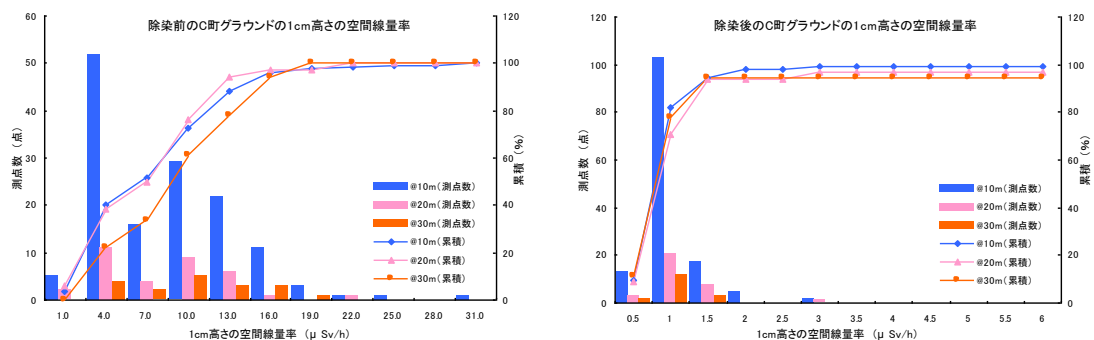
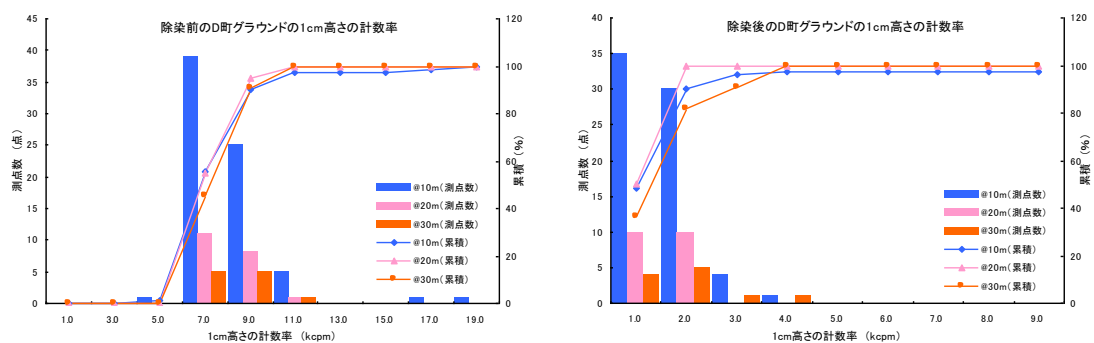
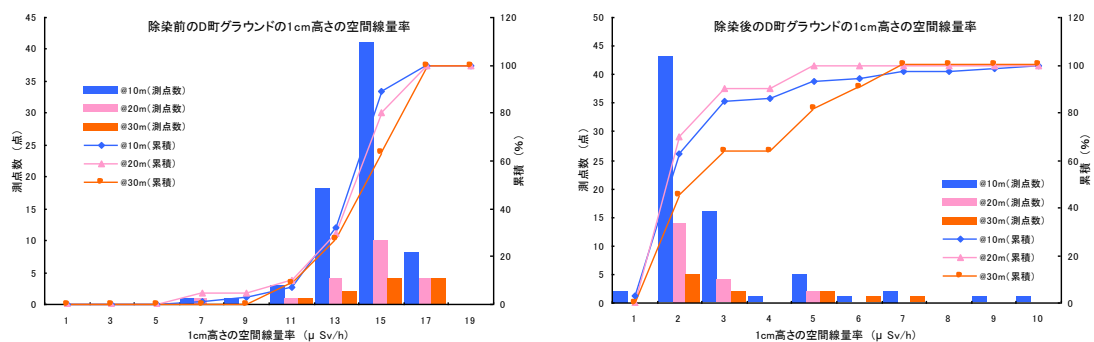
資表 1-1　10m、20m および 30m 間隔における 1cm 高さの計数率の基礎統計量

場　所	測定間隔	除染前の1cm高さの計数率(kcpm)					除染後の1cm高さの計数率(kcpm)				
		測点数	平均値	10m平均値との比率(%)	標準偏差	信頼区間(95%)	測点数	平均値	10m平均値との比率(%)	標準偏差	信頼区間(95%)
A町　運動場	10m	153	6.41	—	2.20	6.06～6.77	153	1.44	—	1.15	1.26～1.63
	20m	44	6.26	97.5	1.82	5.70～6.81	44	1.45	100.5	1.23	1.08～1.82
	30m	25	5.89	91.7	3.29	4.53～7.24	25	1.61	111.9	1.19	1.12～2.11
B町　グラウンド	10m	48	1.20	—	0.49	1.06～1.34	48	0.64	—	0.45	0.51～0.77
	20m	13	1.22	101.5	0.30	1.04～1.39	13	0.72	112.1	0.39	0.48～0.95
	30m	6	1.07	89.1	0.22	0.84～1.29	6	0.62	96.1	0.49	0.10～1.13
C町　グラウンド	10m	141	4.30	—	2.70	3.85～4.75	141	0.55	—	0.45	0.47～0.62
	20m	34	4.57	106.4	2.85	3.58～5.57	34	0.58	106.1	0.50	0.40～0.75
	30m	18	5.66	131.8	1.51	4.15～7.17	18	0.62	114.0	0.64	0.30～0.94
D町　グラウンド	10m	72	7.39	—	1.90	6.94～7.83	72	1.42	—	1.92	0.96～1.87
	20m	20	7.05	95.5	0.98	6.54～7.51	20	1.04	73.6	0.28	0.91～1.17
	30m	11	7.42	100.5	1.08	6.70～8.15	11	1.43	101.1	0.88	0.84～2.02

資表 1-2　10m、20m および 30m 間隔における 1cm 高さの空間線量率の基礎統計量

場　所	測定間隔	除染前の1cm高さの空間線量率(μ Sv/h)					除染後の1cm高さの空間線量率(μ Sv/h)				
		測点数	平均値	10m平均値との比率（%）	標準偏差	信頼区間（95%）	測点数	平均値	10m平均値との比率（%）	標準偏差	信頼区間（95%）
A町 運動場	10m	153	11.38	—	2.36	11.00～11.75	153	2.47	—	2.04	2.14～2.80
	20m	44	11.54	101.4	2.54	10.77～12.31	44	2.72	110.3	2.28	2.03～3.42
	30m	25	10.97	96.4	2.57	9.91～12.03	25	3.08	124.7	2.51	2.04～4.12
B町 グラウンド	10m	48	2.32	—	0.52	2.17～2.47	48	1.16	—	0.56	1.00～1.33
	20m	13	2.33	100.5	0.51	2.02～2.64	13	1.25	107.4	0.54	0.92～1.58
	30m	6	2.58	111.4	0.34	2.22～2.94	6	1.20	103.1	0.70	0.46～1.94
C町 グラウンド	10m	141	7.08	—	5.30	6.20～7.96	141	0.82	—	0.59	0.72～0.92
	20m	34	6.74	95.2	4.84	5.05～8.43	34	0.97	118.7	1.01	0.62～1.33
	30m	18	8.59	121.3	5.00	6.10～11.07	18	1.04	127.0	0.64	0.40～1.69
D町 グラウンド	10m	72	13.42	—	1.70	13.02～13.82	72	2.32	—	1.61	1.94～2.70
	20m	20	13.48	100.4	2.25	12.43～14.53	20	2.06	88.7	0.96	1.61～2.50
	30m	11	14.03	104.5	2.14	12.59～15.46	11	3.09	133.3	1.81	1.88～4.30

整理した結果より、10m 間隔とそれぞれ 20m および 30m 間隔との平均 1cm 高さの計数率および 1cm 高さの空間線量率の差は、除染前の 1cm 高さの計数率では最大 31.8%、除染後の 1cm 高さの計数率では最大 26.4%、除染前の 1cm 高さの空間線量率では最大 21.3%、除染後の 1cm 高さの空間線量率では最大 33.3%となった。これについては、今回使用した測定データは土地利用区分で区分したが、そのデータ内に他の対象物（芝、舗装等）が含まれていないことを否定できないこと、異なる除染方法が含まれていないことを否定できないことなどによるものと推測される。

各測定間隔における除染前・後の 1cm 高さの計数率および 1cm 高さの空間線量率のヒストグラムを資図 1-2～1-9 に示す。

資図 1-2　除染前・後の A 町運動場の 1cm 高さの計数率（ヒストグラム）

資図 1-3　除染前・後の A 町運動場の 1cm 高さの空間線量率（ヒストグラム）

資図 1-4　除染前・後の B 町グラウンドの 1cm 高さの計数率（ヒストグラム）

資図 1-5　除染前・後の B 町グラウンドの 1cm 高さの空間線量率（ヒストグラム）

資図 1-6　除染前・後のＣ町グラウンドの 1cm 高さの計数率（ヒストグラム）

資図 1-7　除染前・後のＣ町グラウンドの 1cm 高さの空間線量率（ヒストグラム）

資図 1-8　除染前・後のＤ町グラウンドの 1cm 高さの計数率（ヒストグラム）

資図 1-9　除染前・後のＤ町グラウンドの 1cm 高さの空間線量率（ヒストグラム）

(3) 10m と 20m 間隔、並びに 10m と 30m 間隔（2 つのグループ）の有意差の検討

各測定間隔の測定結果が正規分布をなすかどうかわからないとし、2 つのグループの検定として、Wilcoxon の符号付順和検定を行った。

各測定間隔における除染前後の 1cm 高さの計数率および 1cm 高さの空間線量率の Wilcoxon の符号付順和検定位を資表 1-3～1-4 に示す。

検定の結果、概ね平均値に差がない検定結果となった。

資表 1-3　1cm 高さの計数率の Wilcoxon の符号付順和検定結果

場　所	比較対象	除染前の1cm高さの計数率（kcpm）		除染後の1cm高さの計数率（kcpm）	
		P値	判定	P値	判定
A町　運動場	10mと20m	0.969	＞0.05	0.777	＞0.05
	10mと30m	0.025	0.01＜P＜0.05	0.240	＞0.05
B町　グラウンド	10mと20m	0.534	＞0.05	0.369	＞0.05
	10mと30m	0.569	＞0.05	0.692	＞0.05
C町　グラウンド	10mと20m	0.675	＞0.05	0.982	＞0.05
	10mと30m	0.080	＞0.05	0.846	＞0.05
D町　グラウンド	10mと20m	0.744	＞0.05	0.906	＞0.05
	10mと30m	0.502	＞0.05	0.304	＞0.05

P<0.01：有意水準1%で平均値に差がある。
P<0.05：有意水準5%で平均値に差がある。
P>0.05：平均値に差がない可能性が高い。

資表 1-4　1cm 高さの空間線量率の Wilcoxon の符号付順和検定結果

場　所	比較対象	除染前の1cm高さの空間線量率（μ Sv/h）		除染後の1cm高さの空間線量率（μ Sv/h）	
		P値	判定	P値	判定
A町　運動場	10mと20m	0.978	＞0.05	0.339	＞0.05
	10mと30m	0.280	＞0.05	0.156	＞0.05
B町　グラウンド	10mと20m	0.690	＞0.05	0.513	＞0.05
	10mと30m	0.202	＞0.05	0.934	＞0.05
C町　グラウンド	10mと20m	0.753	＞0.05	0.669	＞0.05
	10mと30m	0.237	＞0.05	0.701	＞0.05
D町　グラウンド	10mと20m	0.438	＞0.05	0.955	＞0.05
	10mと30m	0.134	＞0.05	0.069	＞0.05

P<0.01：有意水準1%で平均値に差がある。
P<0.05：有意水準5%で平均値に差がある。
P>0.05：平均値に差がない可能性が高い。

(4) 10m,20m,30m 間隔（3 つのグループ）の有意差を検討

各測定間隔の測定結果が正規分布をなすかどうかわからないとし、3 つのグループの検定として、Kruskal-Wallis 検定を行った。

検定結果を資表 1-5～1-6 に示す。

検定の結果、平均値に差がない可能性が高い結果となった。

資表 1-5　1cm 高さの計数率の Kruskal-Wallis 検定結果

場 所	比較対象	除染前の1cm高さの計数率（kcpm）		除染後の1cm高さの計数率（kcpm）	
		P値	判定	P値	判定
A町 運動場	10mと20m	1.000	＞0.05	0.96	＞0.05
	10mと30m	0.076	＞0.05	0.49	＞0.05
	20mと30m	0.151	＞0.05	0.70	＞0.05
B町 グラウンド	10mと20m	0.817	＞0.05	0.69	＞0.05
	10mと30m	0.839	＞0.05	0.95	＞0.05
	20mと30m	0.653	＞0.05	0.70	＞0.05
C町 グラウンド	10mと20m	0.91	＞0.05	1.00	＞0.05
	10mと30m	0.22	＞0.05	0.98	＞0.05
	20mと30m	0.48	＞0.05	0.99	＞0.05
D町 グラウンド	10mと20m	0.944	＞0.05	0.99	＞0.05
	10mと30m	0.788	＞0.05	0.56	＞0.05
	20mと30m	0.713	＞0.05	0.59	＞0.05

P<0.01：有意水準1%で平均値に差がある。
P<0.05：有意水準5%で平均値に差がある。
P>0.05：平均値に差がない可能性が高い。

資表 1-6　1cm 高さの空間線量率の Kruskal-Wallis 検定結果

場 所	比較対象	除染前の1cm高さの空間線量率（μ Sv/h）		除染後の1cm高さの空間線量率（μ Sv/h）	
		P値	判定	P値	判定
A町 運動場	10mと20m	1.00	＞0.05	0.64	＞0.05
	10mと30m	0.56	＞0.05	0.36	＞0.05
	20mと30m	0.64	＞0.05	0.84	＞0.05
B町 グラウンド	10mと20m	0.92	＞0.05	0.81	＞0.05
	10mと30m	0.43	＞0.05	1.00	＞0.05
	20mと30m	0.37	＞0.05	0.95	＞0.05
C町 グラウンド	10mと20m	0.95	＞0.05	0.91	＞0.05
	10mと30m	0.50	＞0.05	0.93	＞0.05
	20mと30m	0.47	＞0.05	1.00	＞0.05
D町 グラウンド	10mと20m	0.75	＞0.05	1.00	＞0.05
	10mと30m	0.31	＞0.05	0.18	＞0.05
	20mと30m	0.72	＞0.05	0.26	＞0.05

P<0.01：有意水準1%で平均値に差がある。
P<0.05：有意水準5%で平均値に差がある。
P>0.05：平均値に差がない可能性が高い。

今回の検討より、各測定間隔において平均値に差がないと考えられることから、測定間隔として 30m とすることが可能と考えられる。

また、このような検討については、“(独) 日本原子力研究開発機構　福島第一原子力発電所事故に係る避難区域等における除染実証業務　報告書”においてもグラウンド、運動

場を対象とした空間線量率の測定データを用いて、同様な検討を行っている。その結果、“グラウンドや運動場のような広い平坦面については、極端に高いホットスポットが存在する可能性が低いため、農地と同様に30m間隔とすることも可能と考えられる。”としている。

これらのことから、広い平坦面においては測定間隔を30mとすることが可能と考えられる。

資料２　ホットスポットの推定・発見方法

(a) ホットスポット部の測定方法

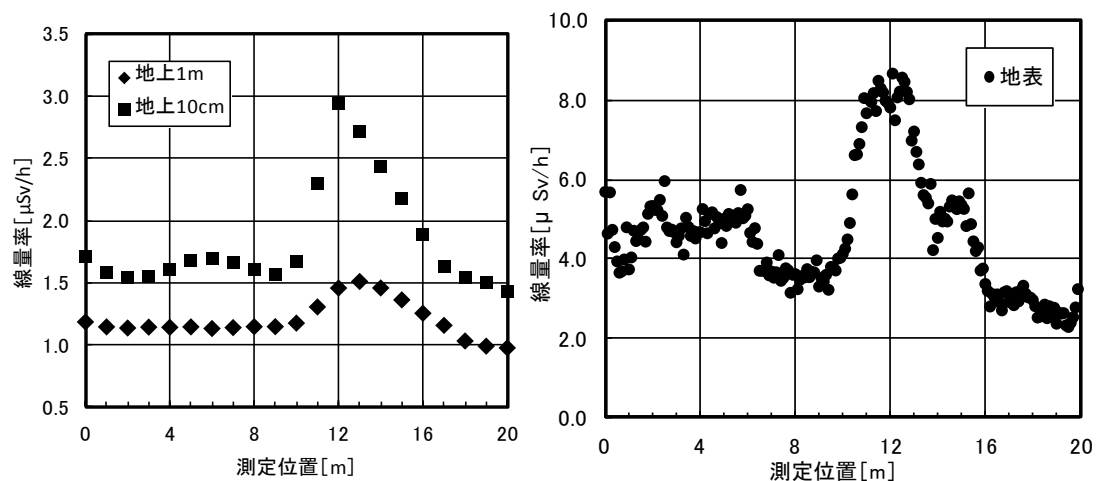
ホットスポットが疑われる場合は、以下のような測定方法で確認することができる。

- 測定は 2m 以内の間隔、または連続にて行う。
- 連続測定の場合、サーベイメータの時定数を短くし（例えば 3 秒)、ゆっくり移動しながら周囲より高い反応を示す場所を探す。
- シンチレーション式サーベイメータを用いる場合で、1m 高さでは反応が不明瞭な場合はプローブ（検出器）を地表や気になる部分に近づけて測定を行う。
- 同一地点で測定高さを変えた測定を行うことで、周囲のホットスポットの有無の推定することができる。(次項参照)

なお、シンチレーション式サーベイメータによるホットスポットの捜索の効率を上げるためには、サーベイメータのプローブに遮へい効果のあるもの（鉛シート等）を巻きつけ、ガンマ線の検出方向に指向性を持たせて反応の高い方向を見分けやすくするといった工夫や、ガンマカメラやシンチレーションファイバーといった指向性、位置分解能を持つ測定器を用いるという方法がある。

(b) 測定の間隔

前述のようなホットスポットが存在した場合の測定値の例を資図 2-1 に示す。資図 2-1 はアスファルト舗装された駐車場のへりの縁石部における測定であり、縁石沿い堆積した土砂に幅 2m 程度のホットスポットが存在した例である。本例や資料 1 に示すその他の測定から、ホットスポットから 1m 程度離れると線量率は周囲と同程度に低下し（地表での測定にて)、地表から離れるほどその変化は緩やかになる傾向が分かる。

これより、ホットスポットを同定するためには 2m 以下の間隔でサーベイを行い、高い値を示した場合はより細かな測定を行うか、連続的にサーベイを行うことが望ましい。

資図 2-1　ホットスポットの測定例
上左：NaI サーベイメータによる歩行サーベイ（時定数 3 秒）
上右：シンチレーションファイバーを用いた分布測定
下：当該部の様子

(c) 異なる高さの測定値の分布

同一地点で高さの異なる測定を実施し、測定値の分布を見ることでホットスポットの推定を行うことができる。

高さの異なる測定値は、地表が均一に汚染されていたと仮定すると比例の関係となる(遠方から入射する放射線の空気による減衰のため地上 1m の空間線量率は地表の約 1/1.7～1/2 となる)。実際には汚染は有限、不均一で、様々な状況による遮へい効果もあるためこのような関係とはならないが、プロットすることにより全体的な傾向から周囲のホットスポットや汚染状況を推測することができる。

一般的に線源が小さく点線源と見なせる場合には、放射される放射線は全方向に広がるため、放射線の線束は線源を中心とする球の表面積に反比例をする（放射線束＝線量率は線源からの距離の二乗に反比例)。

一方、線源が線状に分布する場合は、放射線の線束は線状線源を中心線とする円柱の表

面積に反比例する（放射線束は線源からの距離に反比例）。

全面が一様に汚染され、線源が面状に分布している場合は、放射線の線束の減衰は点線源や線状線源ほど期待できない。

資図 2-2～2-4 は伊達市の実証試験において得られた地上 1m と地上 10cm の空間線量率の相関である（NaI サーベイメータによる歩行サーベイ；時定数 3 秒）。前述とは高さが異なるため、地上 1m の空間線量率は理論的には地上 10cm の約 1/1.55 となる。以下、地上 1m の測定値をＸ、地上 10 cmの測定値をＹとすることがある。

① ホットスポットの直上の場合

資図 2-2 は側溝上と、駐車場の縁の縁石沿いを測定した例である。

分布の傾きが理論値（Ｙ＝1.55Ｘ）よりかなり大きくなっている部分があるが、これは直下にホットスポットが存在した場合、地上 10cm ではその影響を大きく受けるのに対し、1m では相対的にその影響が小さくなるためである。

また、側溝上の測定点の一部が図の左側に分布する傾向にあるのは、周辺のアスファルト上の線量が比較的低く、ホットスポットが側溝内にあるため指向性があり、線状線源に近い分布と見なせるため 10cm 及び 1m ともホットスポットの影響が大きいためと考えられる。一方縁石沿いは直下のホットスポットのほか、横の芝生が比較的高線量であるため、1m 空間線量率に対しては周辺の影響が大きく、結果として側溝上より直下の影響が相対的小さかったものと考えることができる。

② 周囲にホットスポットがある場合

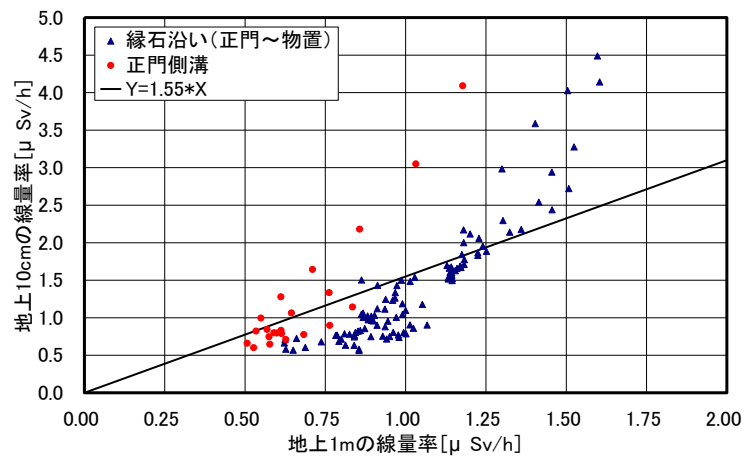
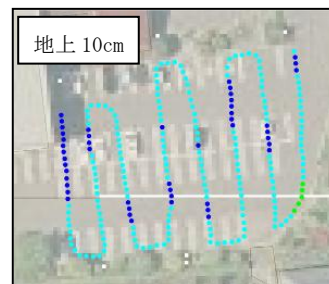
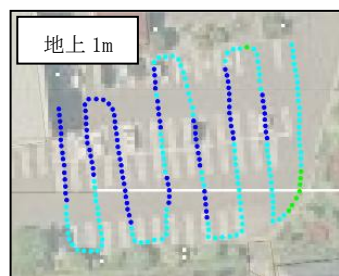
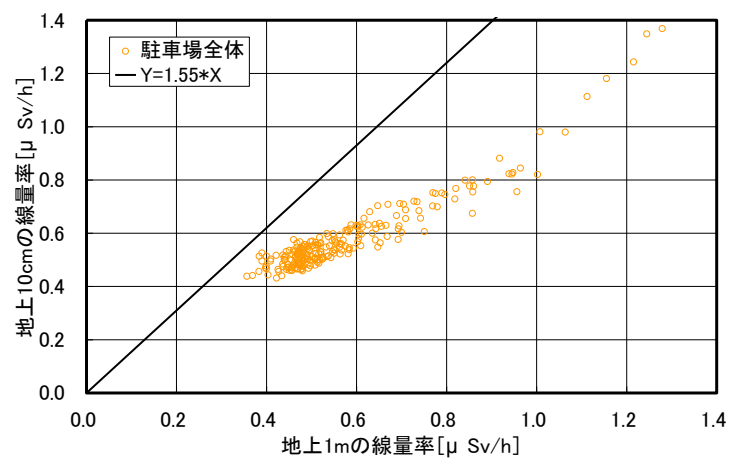
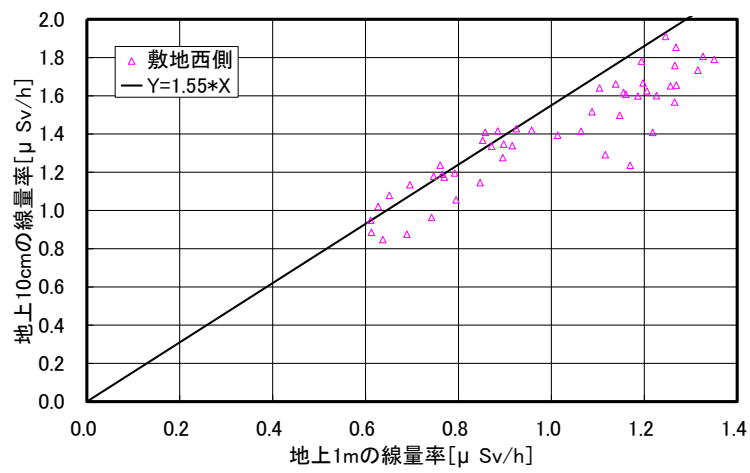
資図 2-3 は周囲にホットスポットがある場合を含む分布である。分布が理論値Ｙ＝1.55Ｘ以下の部分がある。

これらは敷地境界の植込みの傍であったり、雨樋の近くであったことから、これら周囲からの影響の方が直下からの線量率より大きいことを示している。

③ 均一な汚染の場合

資図 2-4 は均一な汚染の場合（ホットスポットがない場合）の分布である。測定場所は急な斜面と建物に挟まれた比較的狭隘な場所である。

分布は概ね理論値Ｙ＝1.55Ｘに沿った傾向となっており、場所ごとに線量率の大小はあってもホットスポットはないと言うことができる。特にこの場所が斜面と建物に挟まれていることにより周囲からの 1m への影響が限定され、理論値に近い傾向を示しているものと考えられる。

以上のように高さ方向の分布を取ることで、ホットスポットの有無や全体的な汚染分布の傾向を推定することができる。

資図 2-2　空間線量率の高さ方向の相関（ホットスポット直上）

資図 2-3　空間線量率の高さ方向の相関（周辺にホットスポットが存在する場合）

資図 2-4　空間線量率の高さ方向の相関（均一な汚染の場合）

資料３　新型の測定器を用いたホットスポットの測定データ例

ここでは除染効果の確認ではなく、ホットスポットが存在する場合の線量分布の特徴を把握するため、新型の測定器を用いて行った測定の結果を示す。

(1) NaI シンチレーションサーベイメータを用いた歩行連続サーベイ

1) 測定日

11 月下旬　晴れ

2) 測定機材

地上 10cm　　日立アロカ TCS-172B　校正定数 1.0（全レンジ）

地上 1m　　日立アロカ TCS-172B　校正定数 1.00（１μSv/h)、1.02（10μSv/h)

時定数はどちらも 3 秒

レンジは原則 3.0μSv/h（但し、超過する場所は 10.0μSv/h）

3) 測定結果の概要と考察

資図3-1に測定の全体図､資図3-2～3-6に横軸を測定位置､縦軸を線量率としたグラフ、資図 3-7 に同じ敷地内で得られた全ての測定値の高さ方向の相関を示す[12]。

① 駐車場全体

資図 3-2 のグラフを見ると周期的に線量率が高いところがあるが、それらは全て南側の縁石付近である｡それらの中で No.209 付近の最も高いピークを除き､1m の線量率が高い。1m の方が高い場所は芝地またはその奥から飛来する放射線の影響と考えられる。これに対して No.209 付近では 10cm の方が高く、その下方に線源があるものと考えられる。この場所は縁石のホットスポットの近くである。

② 駐車場縁石沿い

資図 3-3 のグラフを見ると No.50 までは 10cm の方が高く､No.7 付近、No.21 付近、および No.37 付近では特に大きくなっている｡No.7 付近は側溝のグレーチングの下で高い線量が確認され､No.37 付近は縁石のホットスポットである｡No.21 付近も No.37 のようなホットスポットと思われる。

最後の No.105 付近も同様の傾向が見られるが､物置の前の土溜まりの線量が周囲より高くなっており、それを検知したものと考えられる。

---

[12] 測定時には線量率を記録すると同時に GPS で位置も記録する。結果を整理する際には、歩行開始位置から 1m ごとに線量率をプロットする。なお、移動していることを考慮し、プロット位置を通過する前後それぞれ 1.5 秒間、合計 3 秒間の線量率の平均値を求めて、その位置の線量率とする。

③ 正門側溝上

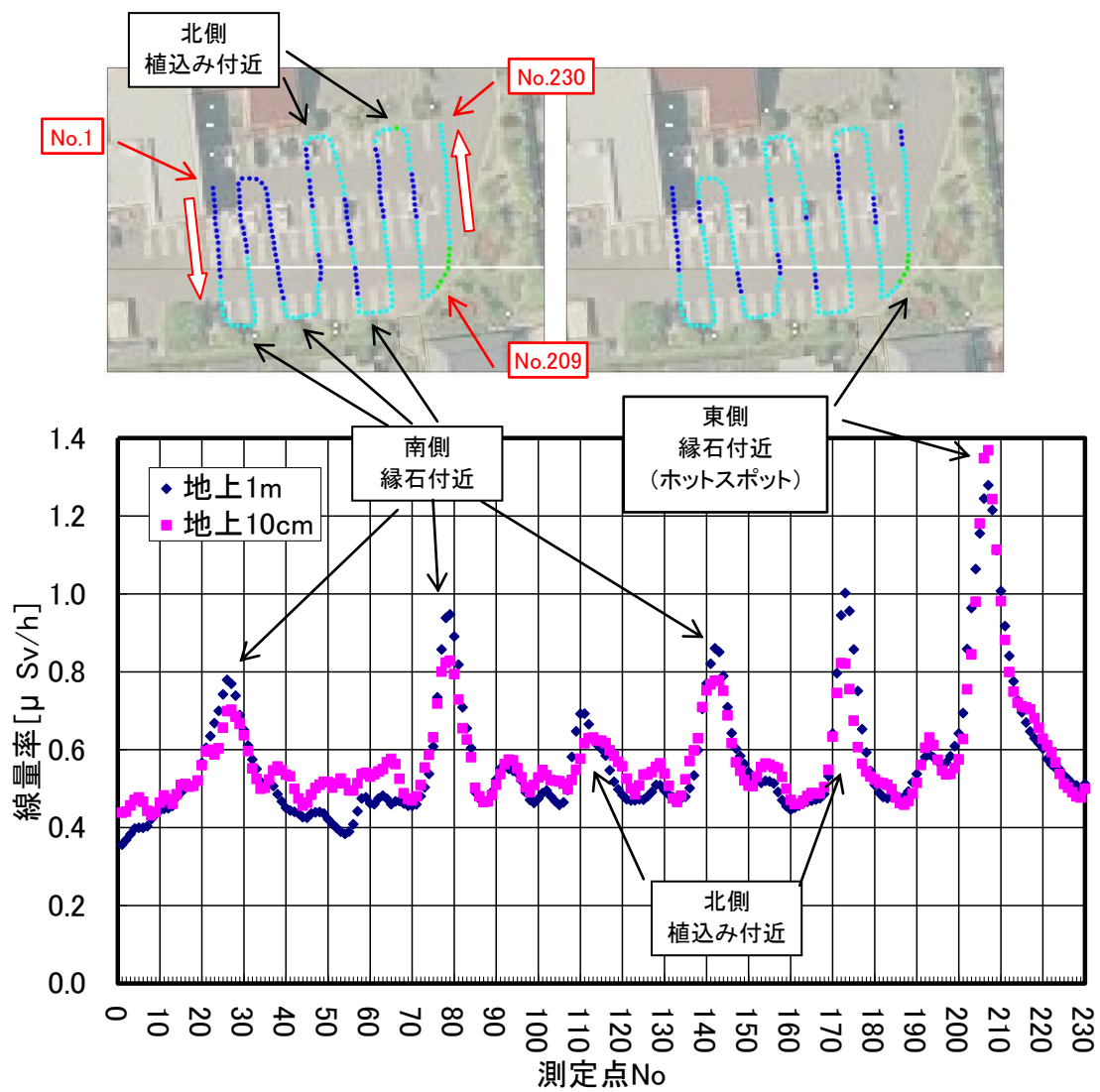
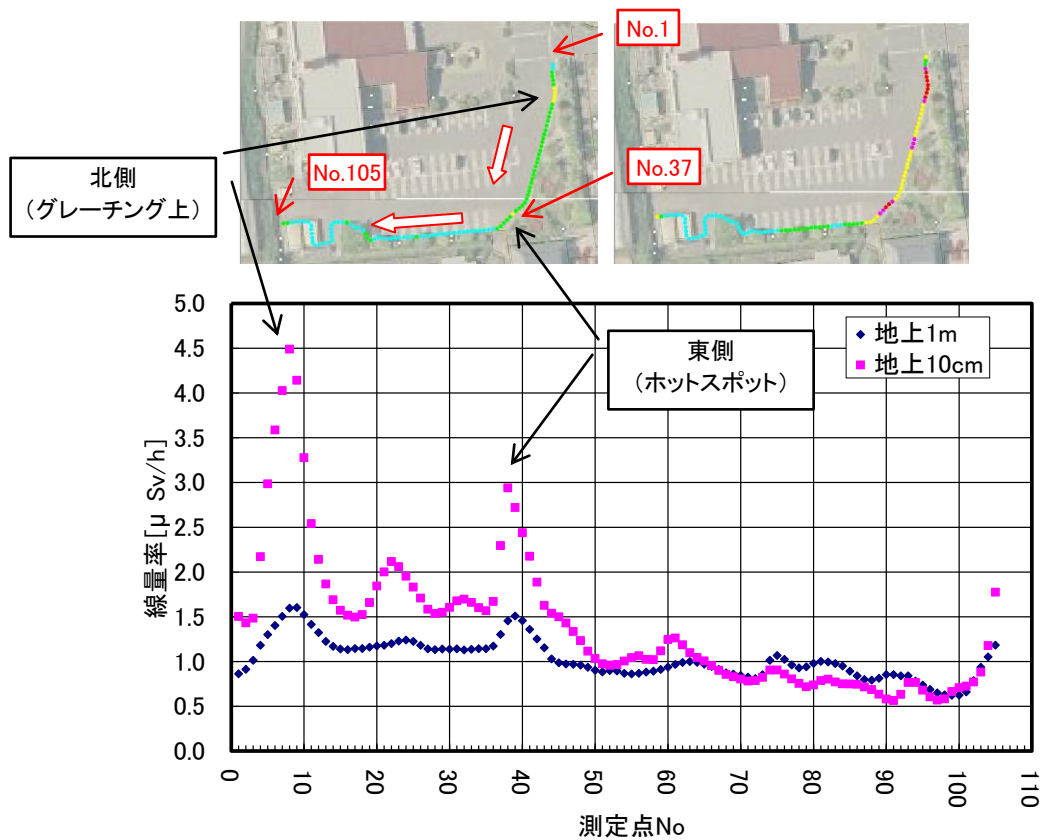
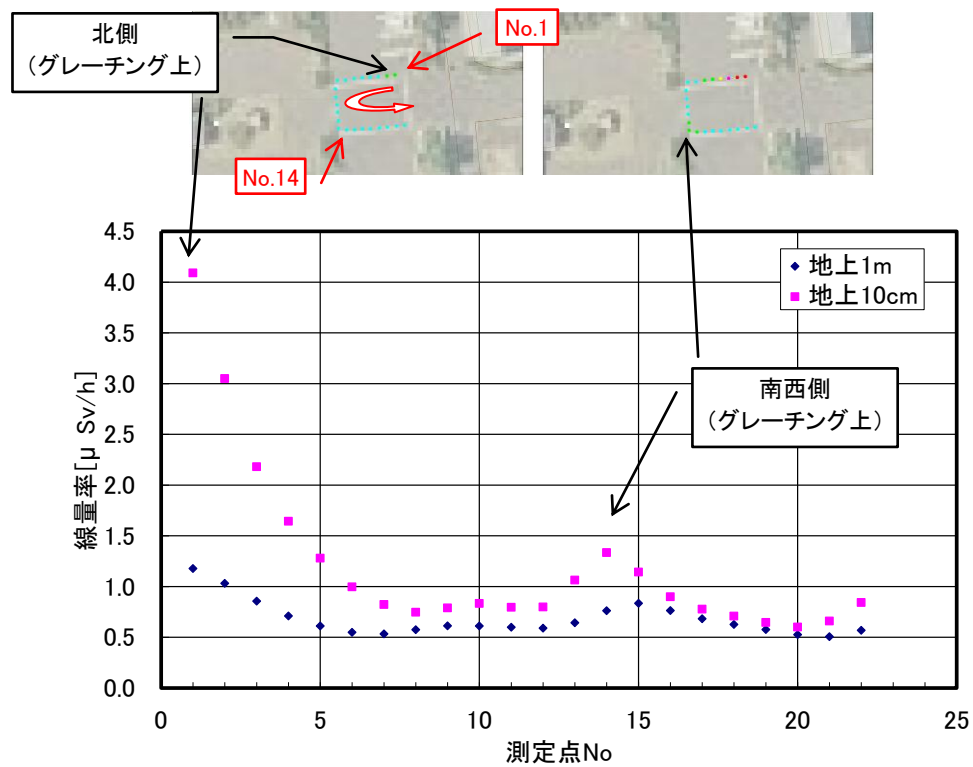
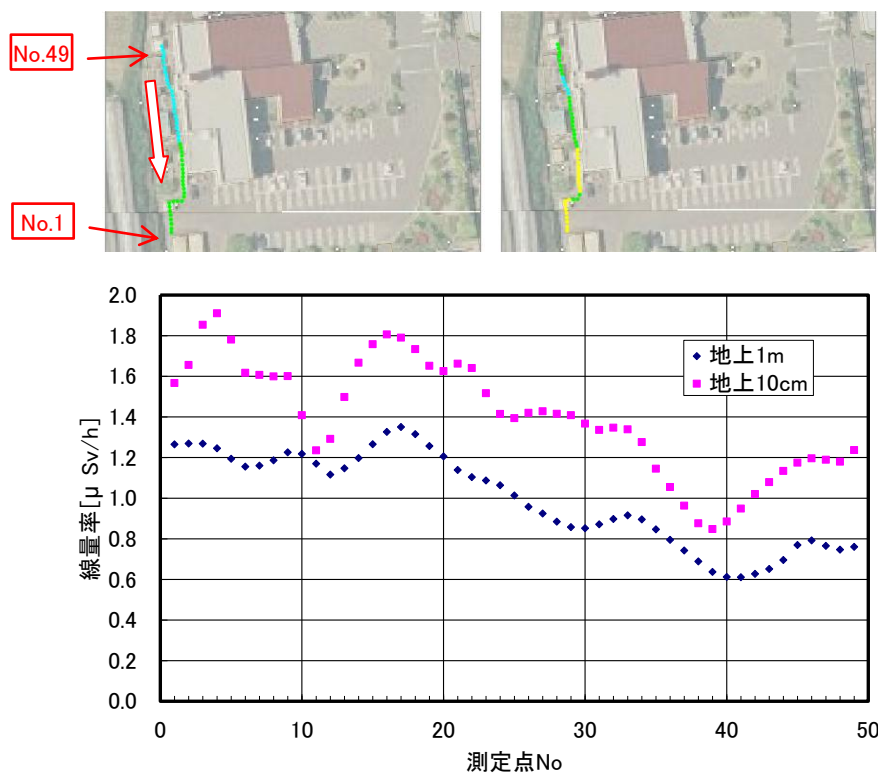
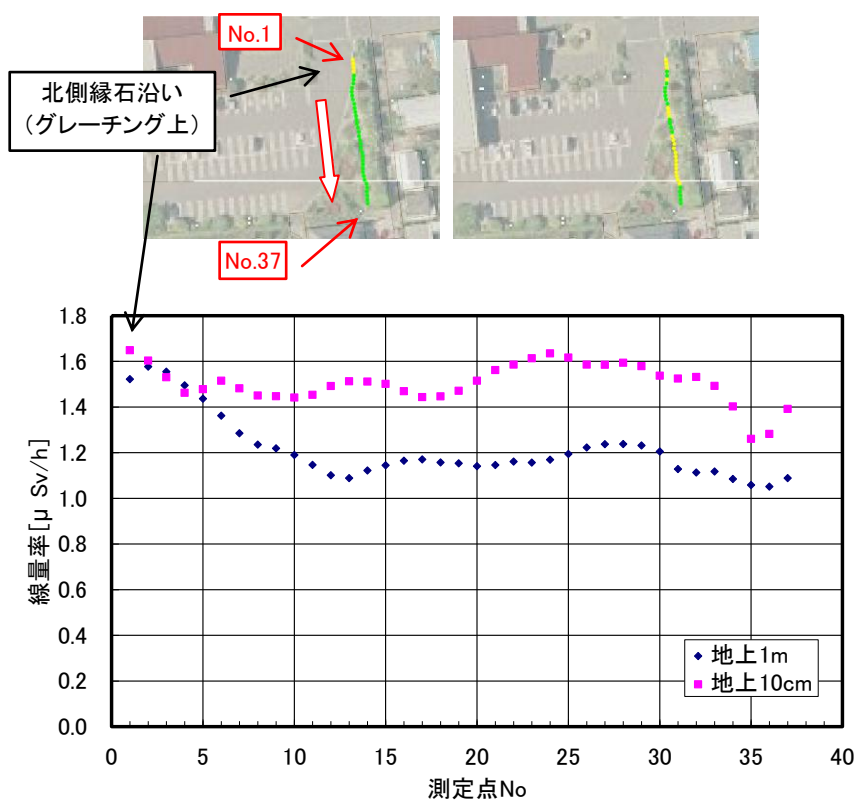
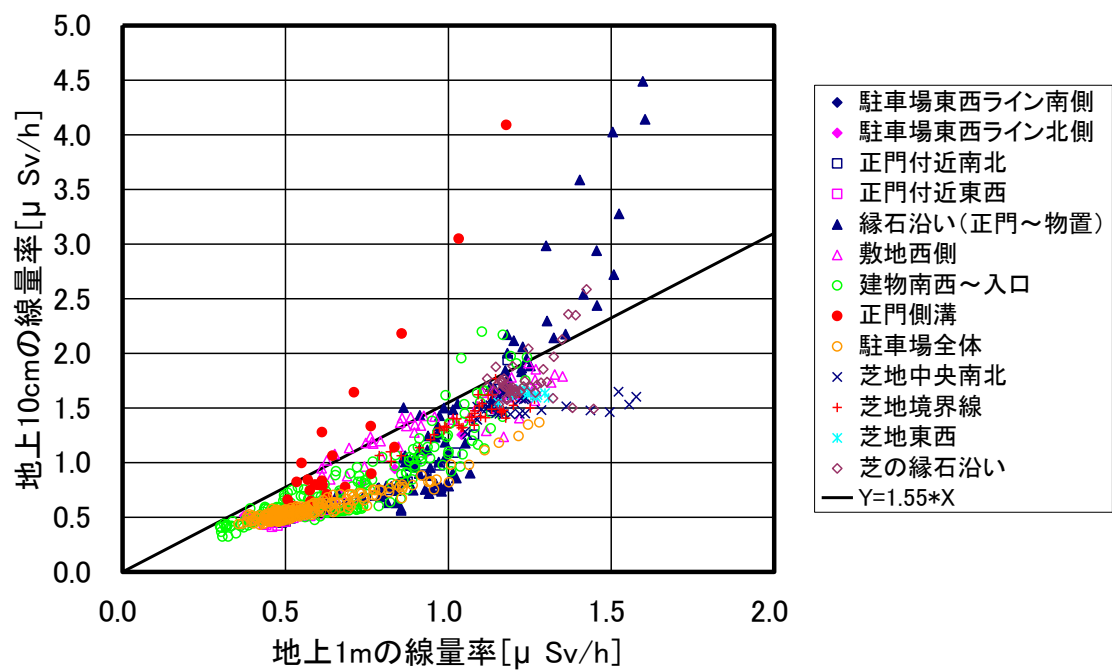
資図 3-4 のグラフでは No.1～5 で 10cm の方が特に高くなっているが、この部分は側溝の蓋がグレーチングになっている。No.14 付近もグレーチングの上であった。

④　敷地西側

資図 3-5 のグラフを見ると全体に 10cm の方が高く、この下の地表面に線源があるものと考えられる。

⑤　芝地中央南北

資図 3-6 の中央南北のグラフでは、1m は全般に 1.2μSv/h、10cm は 1.5μSv/h 程度で 10cm の方が高い。これは芝地の地表面に線源があることを示唆している。

資図 3-1　歩行サーベイ全体図（左：地上 1m、右：地上 10cm）

資図 3-2　測定場所①：駐車場全体

資図 3-3　測定場所②：駐車場縁石沿い

資図 3-4　測定場所③：正門側溝上

資図 3-5　測定場所④：敷地西側

資図 3-6　測定場所⑤：芝地中央南北

資図 3-7　地上 1m と地上 10 cmの測定値の相関図

(2) シンチレーションファイバーを用いた測定

1) 測定日

11 月下旬　曇り（前日の雨により一部地面は濡れていた）

2) 測定機材

資図 3-8 にプラスチックシンチレーションファイバ（PSF）を用いた測定器と、資表 3-1 に主な仕様、測定条件を示す。

資図 3-8　PSF を用いた測定器

資表 3-1　測定器の主な仕様と測定条件

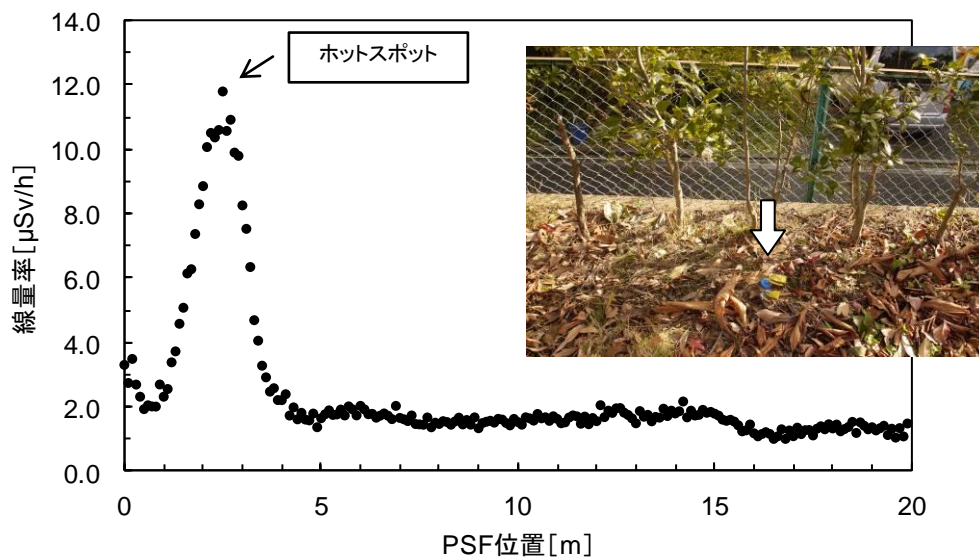
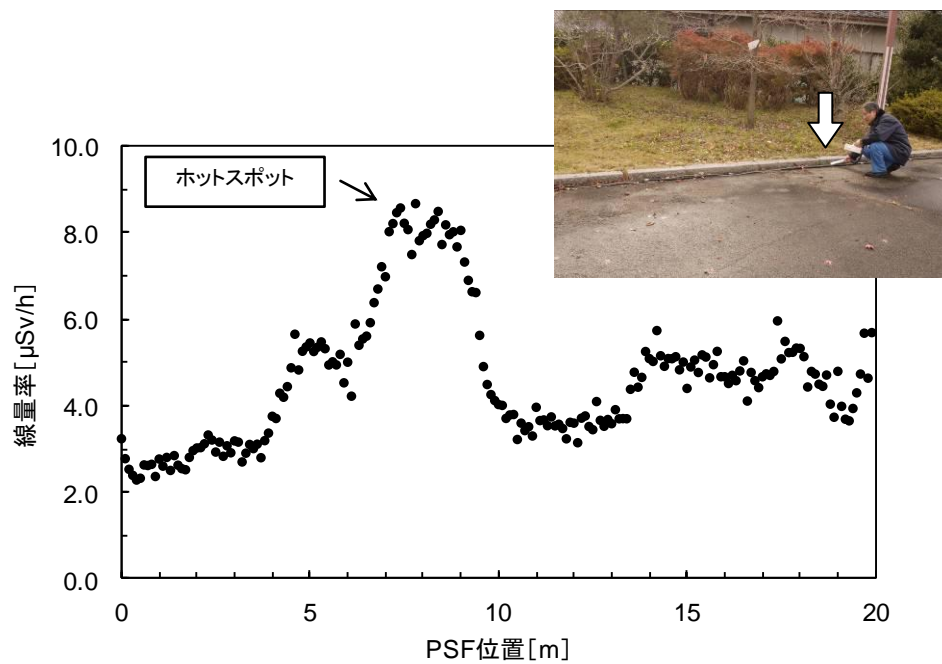
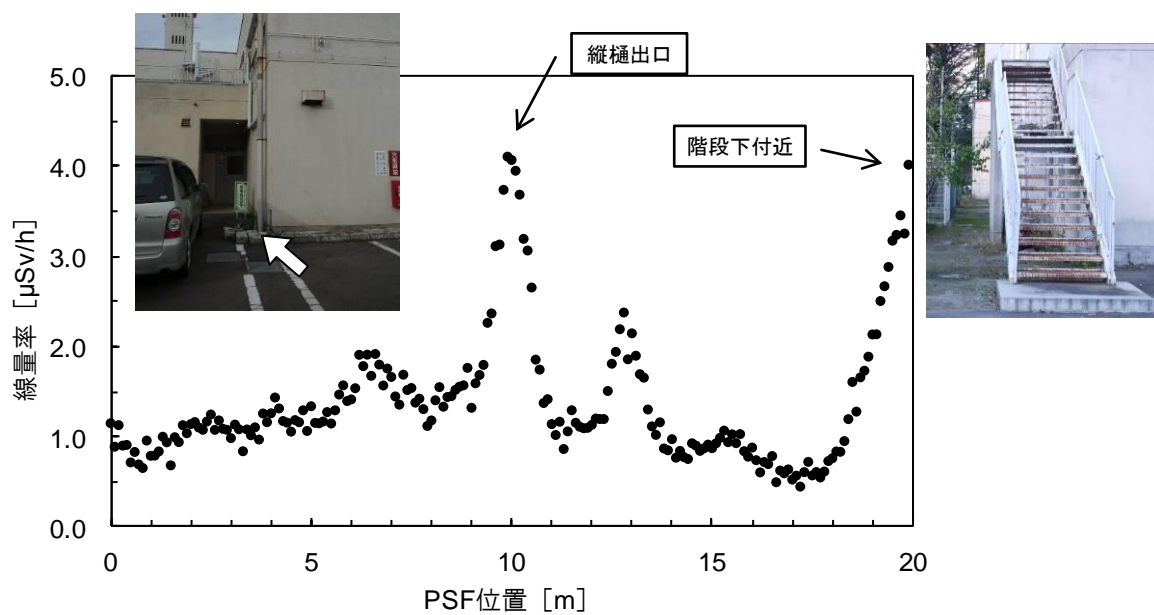
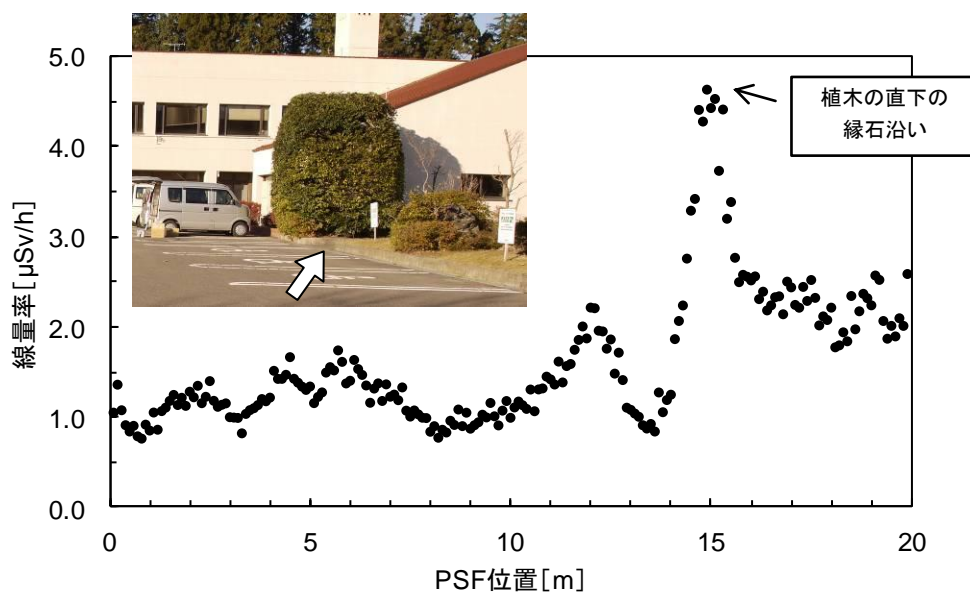
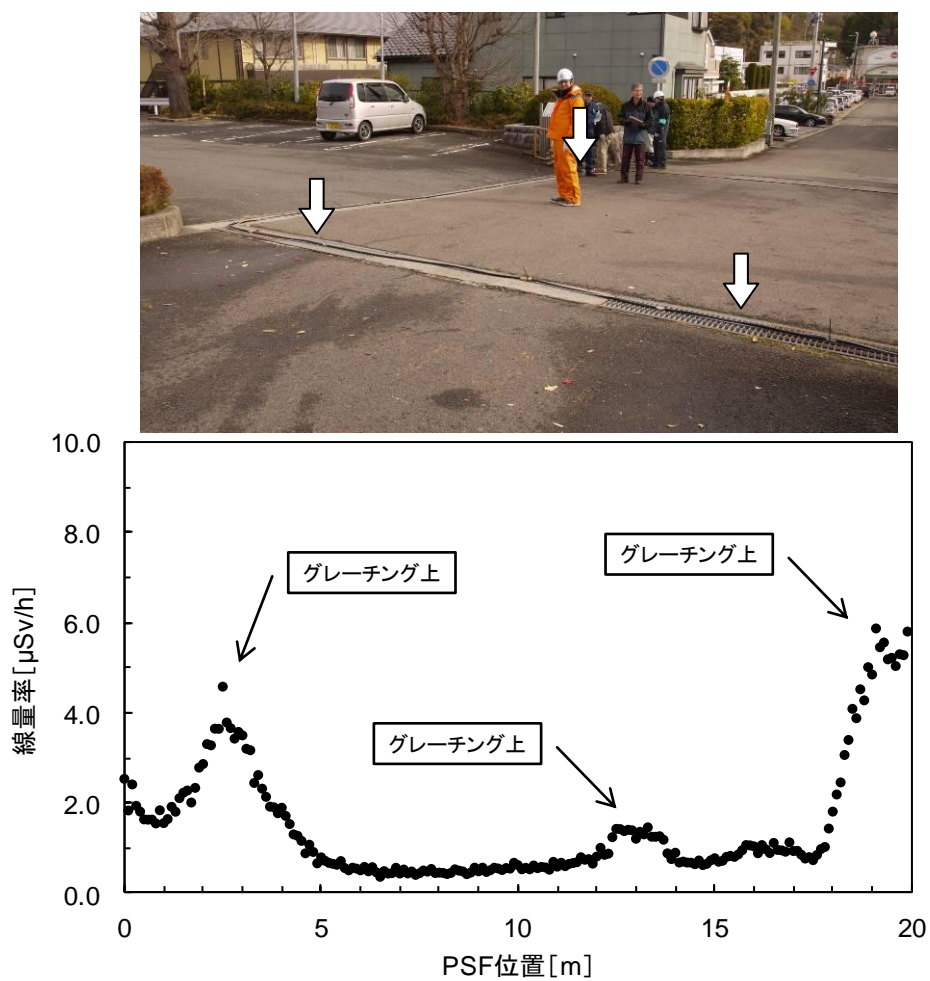
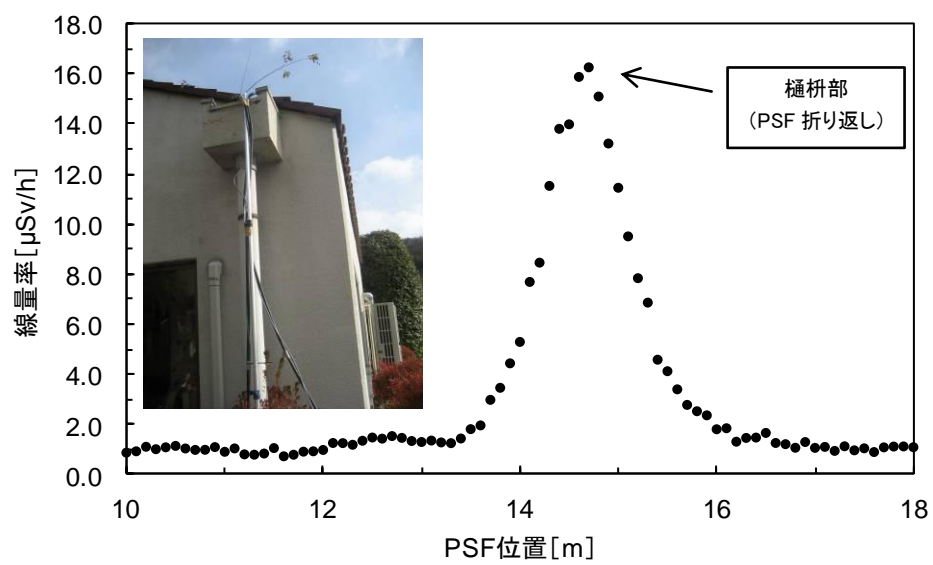
計測部	PSF 7 本バンドル
測定長	20m
測定間隔	10cm
測定対象	ガンマ線
測定時間	60 秒
測定方法	地面に据え置き 雨樋の場合は PSF を支持棒に取付け、樋に沿わせる

3) 測定結果

資図 3-9 は測定の全体図、資図 3-10～3-15 が個々の測定結果である。

縁石沿いの土溜りや雨樋周辺、側溝と言った典型的な箇所のホットスポットが確認された。

測定点 1 は敷地境界の植込み・芝生の部分であり、比較的値の高いホットスポットが発見されたが、周囲の状況は PSF に沿って概ね一様であり、自然に生じたホットスポットとは考えにくい。

資図 3-9　測定場所の全体図

資図 3-10　測定点 1 の測定結果（敷地境界の植込み部）

資図 3-11　測定点２の測定結果（縁石沿い）

資図 3-12　測定点３の測定結果（建物周囲）

資図 3-13　測定点４の測定結果（建物周囲）

資図 3-14　測定点５の測定結果（側溝上）

資図 3-15　測定点６の測定結果（雨樋（竪樋）沿い）

資料４　測定器のテクニカルデータ

時定数について

代表的な機種の時定数は、次のとおり。

機種名	製造メーカー	最低レンジの時定数
TCS-172B (NaI)	日立アロカメディカル	30sec
TGS-146B (GM)	日立アロカメディカル	30sec
Radeye　PRD(NaI)	Thermo Fisher Scientific	20sec
Radeye　B20(GM)	Thermo Fisher Scientific	20sec

読み取り回数について

（財）原子力安全センターの確認校正マニュアルにおいて、シンチレーションサーベイメータの読取り回数（4～5回)、GMサーベイメータの読取り回数（5～10回）と記載がある。

この読み取り回数については、標準偏差1%となる計数率 min^{-1} を目安とするのでシンチレーションサーベイメータと同じ4～5回で許容されると考える。

そのため、マニュアルについては、3回と規定した。

自動バックグラウンド補正機能

自動バックグラウンド補正とは、事前に測定したバックグラウンドの測定値を自動的に差し引いて表示する機能を持つ機器がある。この機能を使用した場合は、直読で正味の測定値となる。

バックグラウンドを設定する場合は、バックグラウンドの測定回数と測定間隔以上の時間で設定を行う必要がある。

取扱説明書

測定器に付属の取扱説明書に記載の使用方法に従い使用してください。

［記載の例］

（使用するレンジ及び時定数は計数率に応じて選択する。）

【レンジ及び時定数の目安[13]】

TCS-172Bの場合

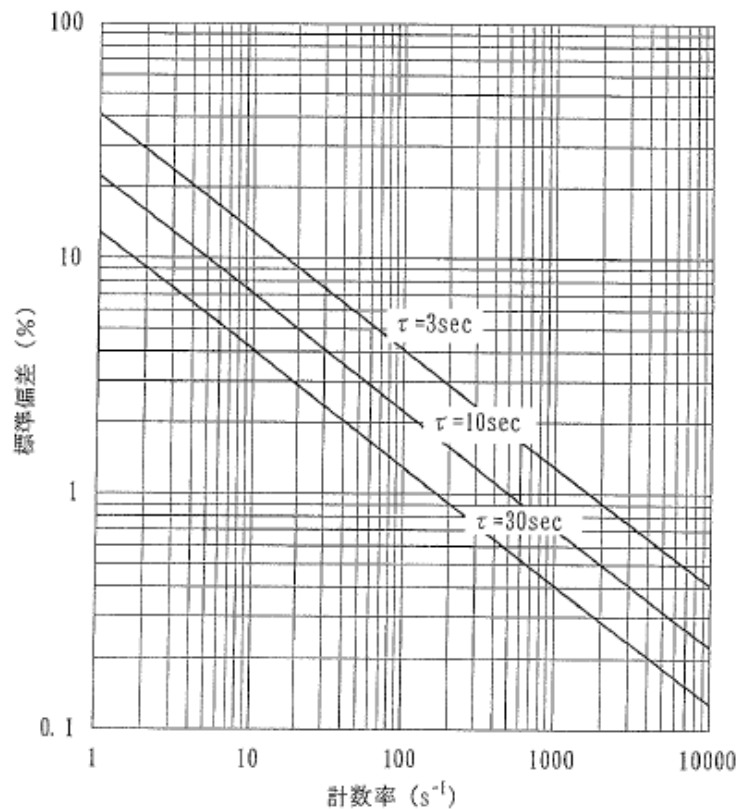
レンジ：0.3μSv／h（または ks^{-1}）　→　時定数：30秒

レンジ：1.0μSv／h（または ks^{-1}）　→　時定数：10秒

[13] 日立アロカメディカル株式会社「エネルギー補償形γ線用シンチレーションサーベイメータ MODEL TCS-172B 取扱説明書」

レンジ：3.0～30 μSv／h（または ks^{-1}）　→　時定数：3 秒

$$標準偏差\sigma(\%) = \frac{100}{\sqrt{2n\tau}}$$

σ ：標準偏差(%)
n ：計数率（s^{-1}）
τ ：時定数（秒）

資図 4-1　各時定数における計数率と標準偏差の関係

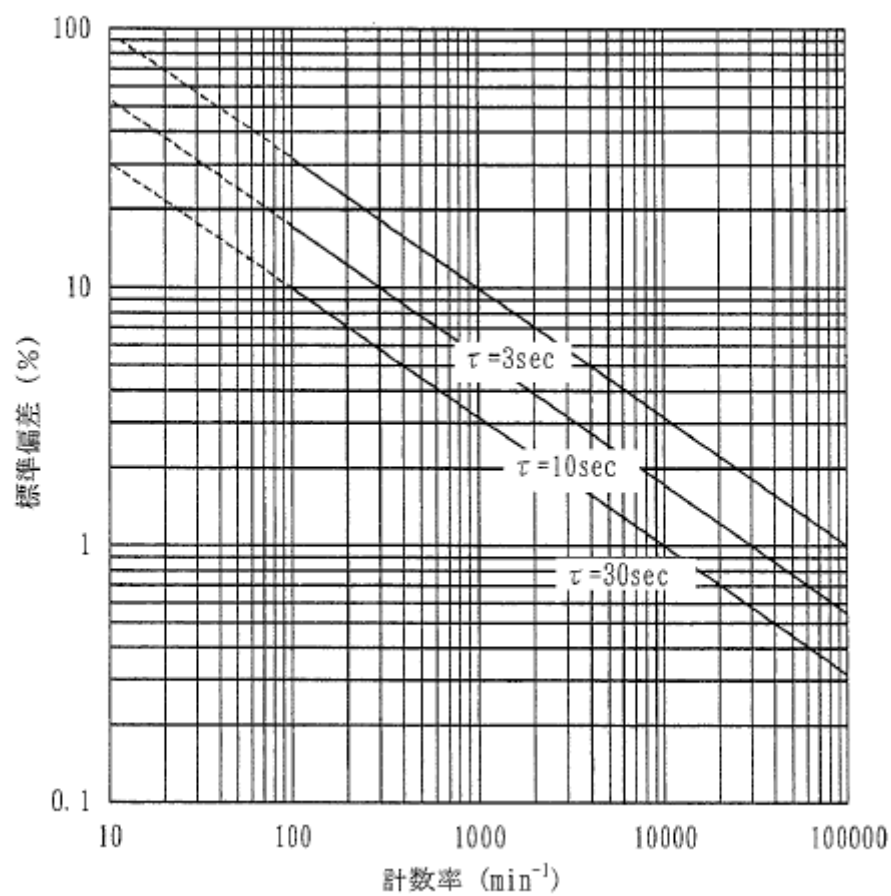
TGS-146B の場合（標準偏差 1%となる計数率 min^{-1} を目安とした。）

レンジ：100～10kmin^{-1}　→　時定数：30 秒

レンジ：30kmin^{-1}　→　時定数：10 秒

レンジ：100kmin^{-1}　→　時定数：3 秒

$$標準偏差\sigma(\%) = \frac{100}{\sqrt{2\eta\tau / 60}}$$

σ ：標準偏差(%)
η ：計数率（min^{-1}）
τ ：時定数（秒）

資図 4-2　各時定数における計数率と標準偏差の関係[14]

[14] 日立アロカメディカル株式会社「GM サーベイメータ MODEL TGS-146B 取扱説明書」

資料５　除染効果評価に必要な収集すべき情報

多くのデータが集まれば、除染効果評価として、事前に除染目標を設定できる可能性がある。以下にその考えを示す。

除染の効果は、同じ工法でも仕様、除染対象物の材質等の状況で異なる。そのため、除染工法の目標値は、一つの工法でも、除染方法の仕様、除染対象物の材質等ごとに設定されることが必要となる。

現状では、高圧水洗浄１つとっても除染方法の仕様が統一されていない状況であるため、除染仕様ごとの期待すべき低減率（除去率）、DF、DRRF のデータが不足しており、本手引書作成段階では具体的な数値を提案することができない(除染効果を適切に評価できない)状況となっている。

除染効果を適切に評価するためには、今後実施する除染工事において、除染の仕様、除染対象物の材質等の状況を明確にしたうえで得られた低減率（除去率）、DF、DRRF を蓄積していき、目標値を設定していくことが必要である。

(1) 収集すべき情報

除染効果を適切に評価するために、収集すべき項目として以下の事項があり、今後除染工事を実施するにあたって、これらの情報を収集する。

① 除染工法の仕様

② 除染対象物の状況

【解説】

① 除染効果に影響にあると考えられる仕様を整理する。除染工法ごとの整理する仕様を資表 5-1 に示す。

資表 5-1　除染工法と仕様

除染工法	仕様	備考
高圧水洗浄	・吐出圧力 ・流量 ・噴射ノズルからの噴射角度 ・単位面積当たりの使用水量（除染回数） ・噴射ノズル先端と除染対象物との距離 ・噴射ノズル先端と除染対象物が成す角度	ノズル 噴射角度
拭き取り	・道具の材質 ・中性洗剤仕様に有無 ・1 回の洗浄範囲 ・単位面積当たりのふきとり回数	
ブラッシング	・道具の材質 ・1 回の洗浄範囲 ・単位面積当たりのふきとり回数	
ブラスト	・ブラスト材の材質 ・ブラスト圧 ・投射量 ・作業速度	

② 除染効果に影響があると考えられる以下に項目について除染対象物の状況を整理する。

- 除染対象物の材質
- 除染対象物の表面の状況（クラック有無、有りの場合：クラック幅、間隔、深さ）
- 除染対象物の地点の 1m空間線量、1 ㎝空間線量

資料6　目標の設定手順

目標の設定は目標が設定されていない場合とすでに設定されている場合とで、資図 6-1、資図 6-2 に示すような手順が考えられる。

①　データの統計処理

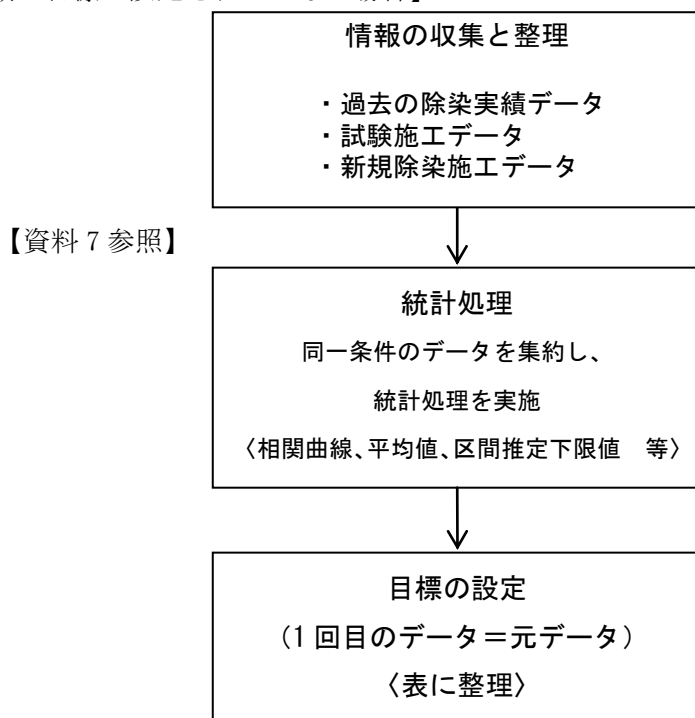
目標は、統計処理をして設定する。

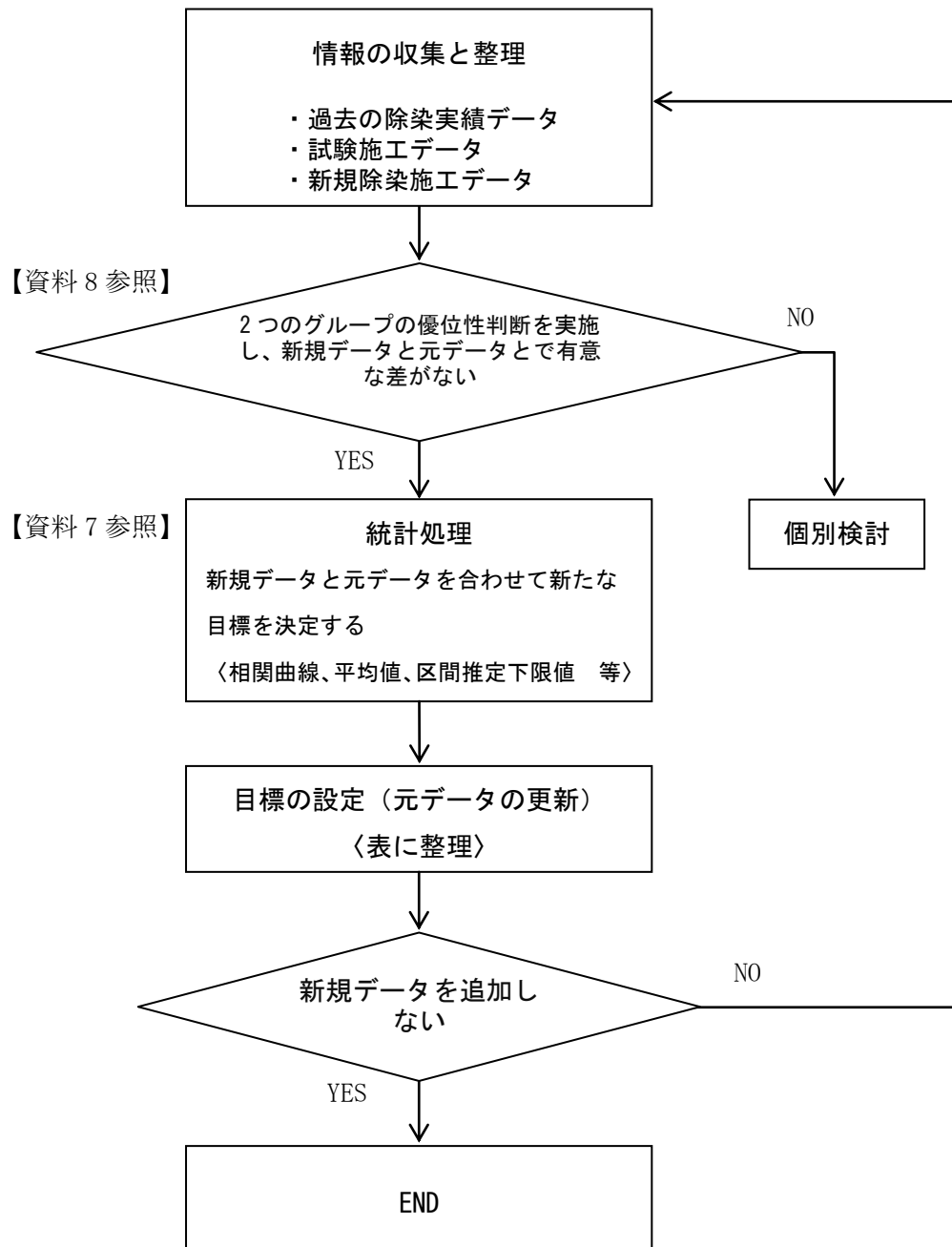
除染前の除染対象物の汚染状況のばらつき、除染施行時のばらつき、測定時のばらつきにより、同一工法・同一仕様の除染を行った場合でも、除染結果の多少のばらつきは避けられない。そのため、複数の除染結果のデータを用いて、統計的な処理によって目標の値を決定する必要がある。(詳細については、資料 7 参照)

②　データの更新

目標を一回設定してもその初期の設定値が妥当か否かを照査していく必要がある。

今回の除染によって得られたデータを目標設定のデータとして追加することにより、目標の精度をさらに高めることができる。また、今回のデータと他のデータを比較したときに、当初の目標設定と傾向が異なる場合には、評価方法を見直す。(詳細については、資料 8 参照)

【初期の目標が設定されていない場合】

資図 6-1　初期の目標が設定されていない場合の目標の設定手順

【目標（元データ）が有り、新規データを反映して更新していく場合】

資図 6-2　目標（元データ）が有り、新規データを反映して更新していく場合の目標の設定手順

資料７　データの取り扱い方法

除染仕様を統一したモニタリングデータを統計処理することにより、目標を設定する。

除染効果を評価するための統計処理方法として確立したものはないが、以下のような方法で目標を設定することが考えられる。

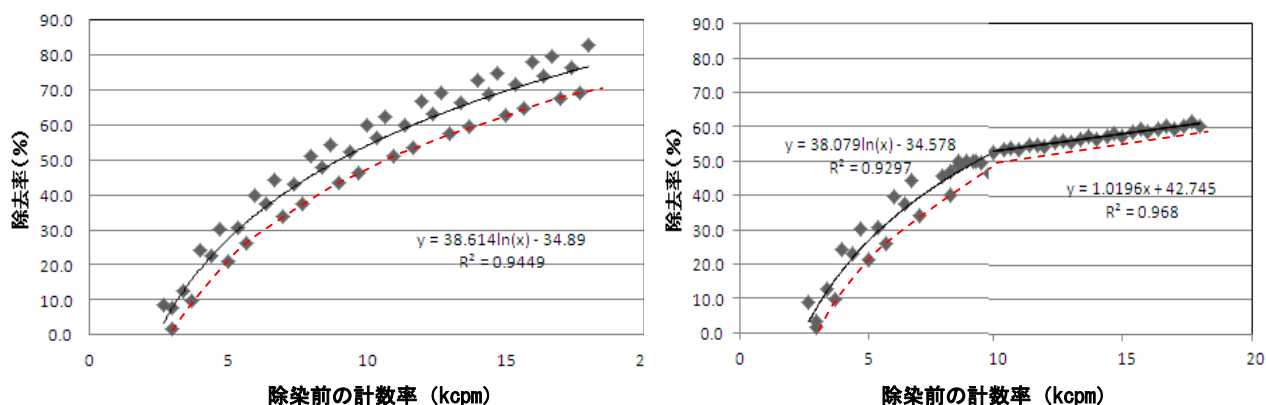
(1) 除染前の計数率と除去率、DF 値或いは DRRF との相関関係より、除染前の計数率に対応した目標を設定する。

(2) 除去率、DF 値或いは DRRF の平均値及び標準偏差から、目標を設定する。

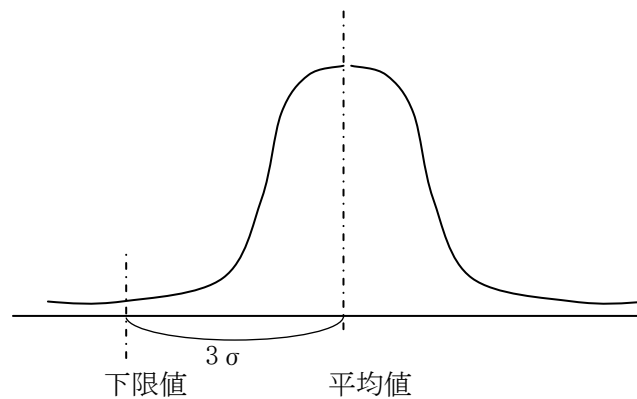
【解説】

(1) 除染仕様を統一したデータを整理すると、除去率、DF 値或いは DRRF は、放射性物質濃度が高い場合は大きく、低い場合は小さくなると推定され、除染前の計数率と除去率、DF 値或いは DRRF 値の間には、相関があると考えられる。

除染前の計数率と除去率、DF 値或いは DRRF 値の相関係数を調べ、相関性の高い曲線をさがす。概念図を資図 7-1 に示す。

①　相関曲線が 1 本の場合　　②相関曲線が 2 本の場合

資図 7-1　計数率と除去率の関係の概念図

(2) 除染仕様が同じ場合、その除染効果は、正規分布していると考える。

目標は、①「平均値」を設定する方法と、②「平均値の区間推定における下限値」を設定する方法が考えられる。(資図 7-2 参照)。

資図 7-2　目標の設定

上記の考え方により、下記の除染方法の除染工法別の目標のイメージを以下に示す。

除染工法の分類

除染工法を下記のように分類し、分類毎に同一の仕様のデータをまとめる（資表 7-1～資表 7-5）

- 洗浄
- 拭き取り
- ブラッシング
- 削り取り
- 剥ぎ取り

・洗浄

洗浄方法が高圧洗浄工法の場合、高圧洗浄機性能、洗浄方法、初期の汚染の程度で、除染効果が異なることから、除染条件ごとに目標を設定し、その設定値に対して除染効果の評価を行う。

また、除染の効果は、除染対象物の材質等の状況により異なることから、その状況も合わせて記録する。

資表 7-1　高圧水洗浄における目標

除染 目標 (除去率) (%)	材質	高圧洗浄機の性能			洗浄方法			事前調査における 1cm 高さの空間線量率※ (μSv/h)
		圧力 (Mpa)	流量 (L/分)	スプレー角度	使用量 (L/m^2)	除染対象とノズルの距離 (cm)	除染対象とノズルの成す角度	
	密粒 アスファルト	15	a	b	20	20	c	x ～ y
		15	a	b	20	20	c	y ～ z
		15	a	b	20	20	c	z ～
	透水性 アスファルト	15	a	b	20	20	c	x ～ y
		15	a	b	20	20	c	y ～ z
		15	a	b	20	20	c	z ～
	コンクリート 舗装	15	a	b	20	20	c	x ～ y
		15	a	b	20	20	c	y ～ z
		15	a	b	20	20	c	z ～

注)　材質、数値等の除染条件は、仮のものであり実績を整理していく。

※　x ～ y は低線量域、y ～ z は中線量域、z ～は高線量域を表す。

除去率の参考として「JAEA 警戒区域、計画的避難区域等における除染モデル実証事業」におけるコンクリート（たたき）の高圧水洗浄結果は、以下のようなデータがある。

平均除去率（9 市町村）約 45%（最大値約 80%、最小値約 20%）

なお、本データは計数率から算出した除去率である。

・拭き取り

洗浄方法が、拭き取り工法の場合、除染対象材質、道具、1 回の洗浄範囲、回数、初期の汚染の程度で、除染効果が異なることから、その除染条件ごとに目標を設定し、その設定値に対して除染効果の評価を行う。

また、除染の効果は、除染対象物の材質等の状況により異なることから、その状況も合わせて記録する。

資表 7-2　拭き取り

除染目標(除去率)(%)	除染対象材質	道具		方法		1回の洗浄範囲(cm^2)	回数	事前調査における 1cm 高さの空間線量率※(μSv/h)
		ウェス	ペーパーウェス	水	中性洗剤洗剤			
	鋼鈑	○	―	○	―	a	1	x ～ y
		○	―	○	―	a	1	y ～ z
		○	―	○	―	a	1	z ～
	鋼鈑	―	○	○	―	a	1	x ～ y
		―	○	○	―	a	1	y ～ z
		―	○	○	―	a	1	z ～
	サッシ	○	―	―	○	a	1	x ～ y
		○	―	―	○	a	1	y ～ z
		○	―	―	○	a	1	z ～
	サッシ	―	○	―	○	a	1	x ～ y
		―	○	―	○	a	1	y ～ z
		―	○	―	○	a	1	z ～

注）　材質、数値等の除染条件は、仮のものであり実績を整理していく。

※　x ～ y は低線量域、 y ～ z は中線量域、 z ～は高線量域を表す。

・ブラッシング

洗浄方法がブラッシング工法の場合、除染対象材質、道具、1 回の除染範囲、回数、初期の汚染の程度で、除染効果が異なることから、その除染条件ごとに目標を設定し、その設定値に対して除染効果の評価を行う。

また、除染の効果は、除染対象物の材質等の状況により異なることから、その状況も合わせて記録する。

資表 7-3　ブラッシング

除染目標(除去率)(%)	除染対象材質	道具		1回の除染範囲(cm^2)	回数	事前調査における 1cm 高さの空間線量率※(μSv/h)
		軟質ビニール	硬質ビニール			
	鋼鈑	○	－	a	1	x ～ y
		○	－	a	1	y ～ z
		○	－	a	1	z ～
	鋼鈑	－	○	a	1	x ～ y
		－	○	a	1	y ～ z
		－	○	a	1	z ～
	サッシ	○	－	a	1	x ～ y
		○	－	a	1	y ～ z
		○	－	a	1	z ～
	サッシ	－	○	a	1	x ～ y
		－	○	a	1	y ～ z
		－	○	a	1	z ～

注)　材質、数値等の除染条件は、仮のものであり実績を整理していく。

※　x ～ y は低線量域、y ～ z は中線量域、 z ～は高線量域を表す。

・削り取り

削り取りがブラスト工法の場合、ブラスト材の材質、ブラスト圧、投射量、作業速度、初期の汚染の程度で、除染効果が異なることから、その除染条件ごとに目標を設定し、その設定値に対して除染効果の評価を行う[15]。

また、除染の効果は、除染対象物の材質等の状況により異なることから、その状況も合わせて記録する。

資表 7-4 ショットブラスト（金属系）

<table>
<tr><th>除染
目標
(除去率)
(%)</th><th>除染対象
材質</th><th>ブラスト材</th><th>ブラスト圧</th><th>投射量</th><th>作業速度</th><th>事前調査における 1cm 高さの空間線量率※
（μSv/h）</th></tr>
<tr><td></td><td rowspan="6">密粒
アスファルト</td><td rowspan="3">鉄球</td><td>a1</td><td>b1</td><td>c1</td><td>x ～ y</td></tr>
<tr><td></td><td>a1</td><td>b1</td><td>c1</td><td>y ～ z</td></tr>
<tr><td></td><td>a1</td><td>b1</td><td>c1</td><td>z ～</td></tr>
<tr><td></td><td rowspan="3">銅</td><td>a1</td><td>b1</td><td>c2</td><td>x ～ y</td></tr>
<tr><td></td><td>a1</td><td>b1</td><td>c2</td><td>y ～ z</td></tr>
<tr><td></td><td>a1</td><td>b1</td><td>c2</td><td>z ～</td></tr>
<tr><td></td><td rowspan="6">コンクリート
舗装</td><td rowspan="3">鉄球</td><td>a1</td><td>b1</td><td>c1</td><td>x ～ y</td></tr>
<tr><td></td><td>a1</td><td>b1</td><td>c1</td><td>y ～ z</td></tr>
<tr><td></td><td>a1</td><td>b1</td><td>c1</td><td>z ～</td></tr>
<tr><td></td><td rowspan="3">銅</td><td>a1</td><td>b1</td><td>c2</td><td>x ～ y</td></tr>
<tr><td></td><td>a1</td><td>b1</td><td>c2</td><td>y ～ z</td></tr>
<tr><td></td><td>a1</td><td>b1</td><td>c2</td><td>z ～</td></tr>
</table>

注）　材質、数値等の除染条件は、仮のものであり実績を整理していく。

※　x ～ y は低線量域、y ～ z は中線量域、 z ～は高線量域を表す。

除去率の参考として「JAEA 警戒区域、計画的避難区域等における除染モデル実証事業」におけるコンクリート（たたき）のショットブラスト（金属系）の結果は、次のとおり。

平均除去率（2 市町村）約 90%（最大値約 95%、最小値約 85%）

なお、本データは計数率から算出した除去率である。

[15] 「JAEA 警戒区域、計画的避難区域等における除染モデル実証事業」では、舗装について深度方向の汚染分布を調べており、その結果を見ると地表面の部分にほとんどの汚染があることが確認できる（図 4-3 参照）。これより、事前に深度方向の汚染分布を把握し、ブラストにより削る目標深度を設定し、試験工事により、目標深度を確保できる仕様を設定する方法が考えられる。

資表 7-5 ショットブラスト（サンド系）

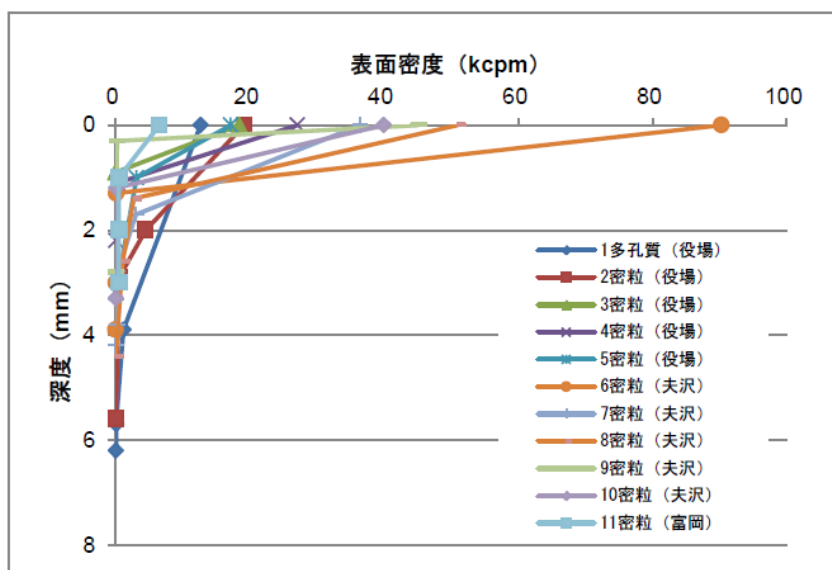
除染 目標 (除去率) (%)	除染対象 材質	ブラスト材	ブラスト圧	投射量	作業速度	事前調査における 1cm 高さの空間線量率※ （μSv/h）
	密粒 アスファルト	サンドA	a1	b1	c1	x～y
			a1	b1	c1	y～z
			a1	b1	c1	z～
		サンドB	a1	b1	c2	x～y
			a1	b1	c2	y～z
			a1	b1	c2	z～
	コンクリート 舗装	サンドA	a1	b1	c1	x～y
			a1	b1	c1	y～z
			a1	b1	c1	z～
		サンドB	a1	b1	c2	x～y
			a1	b1	c2	y～z
			a1	b1	c2	z～

注） 材質、数値等の除染条件は、仮のものであり実績を整理していく。

※ x～yは低線量域、y～zは中線量域、z～は高線量域を表す。

除去率の参考として「JAEA 警戒区域、計画的避難区域等における除染モデル実証事業」におけるコンクリート（たたき）のサンドブラスト（サンド）の結果は、次のとおり。

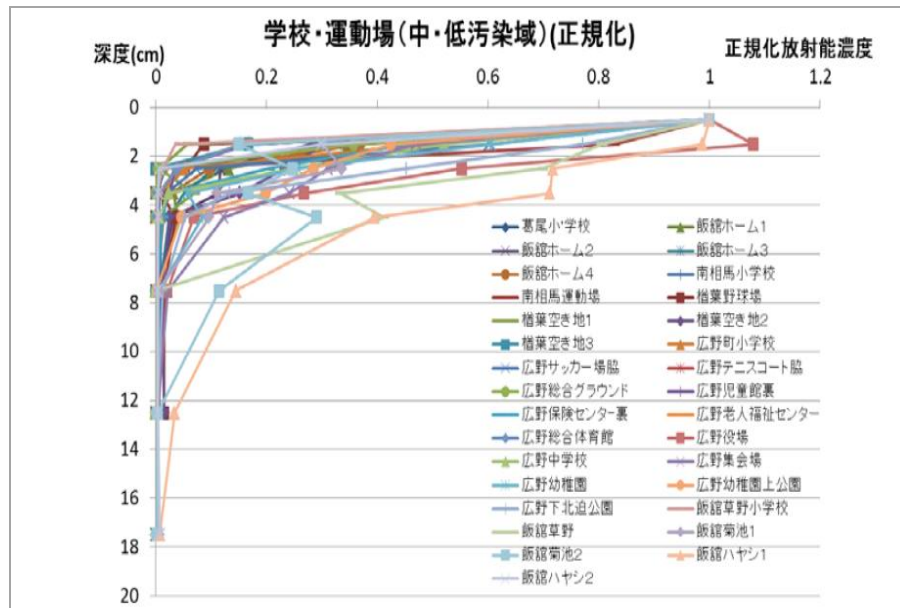
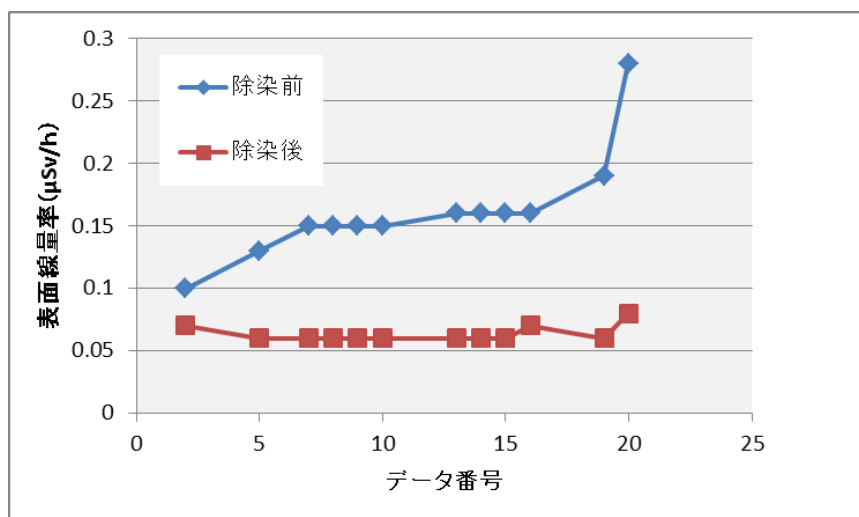
平均除去率（5 市町村）約 50%（最大値約 85%、最小値約 30%）

なお、本データは計数率から算出した除去率である。

資図 7-3　アスファルト舗装の深度方向の汚染状況[16]

[16] 福島第一原子力発電所事故に係る避難区域等における除染実証業務【除染モデル実証事業編】報告書平成 24 年 6 月　独立行政法人 日本原子力研究開発機構　（以下　除染実証業務報告書と記す）P154　より引用

・剥ぎ取り

剥ぎ取りの例として、「JAEA 警戒区域、計画的避難区域等における除染モデル実証事業」で示されている結果を資図 7-4 に示す。これによれば、放射能濃度は表面の濃度に関わらずある深度でほぼ一定の値になる傾向にある。

また、除染前後の表面線量率の例（川内村）を資図 7-5 に示す。除染後の値は、除染前の値に関わらず、ある一定の値になっていることがわかる。

資図 7-4　大型構造物、農地などの土壌の放射能濃度の深度分布[17]

資図 7-5　除染前後の表面線量率（川内村　芝剥ぎ取り）[18]

[17] 除染実証業務報告書　P71 より引用

[18] 除染後は、客土後の値であり、客土の遮蔽効果を加味した状態で計測したものであるが、客土前であっても、一定の値になる傾向は変わらないと考えられる。

資料８　目標のデータの蓄積と評価

資料７で示した方法で目標を設定した後行われた除染の結果を追加し、その精度を高める。

しかし、新たなデータの追加により傾向が異なる場合は、評価方法を見直す。

大きな違いを生じたかを判断する具体的な方法として、例えば下記に示す【2 つのグループの有意性を判断する方法】がある。

【2 つのグループの有意性を判断する方法】

目標を設定したときのデータのグループと、新たなデータのグループの間に、有意な差があるかどうかの判定方法として、統計的処理の手法を用いるのも一つの方法である。正規性[19]、等分散性[20]により、その方法を使いわける。

資表 8-1 に 2 つのグループの検定方法の分類を示す。

資表 8-1　2 つのグループの検定方法の分類

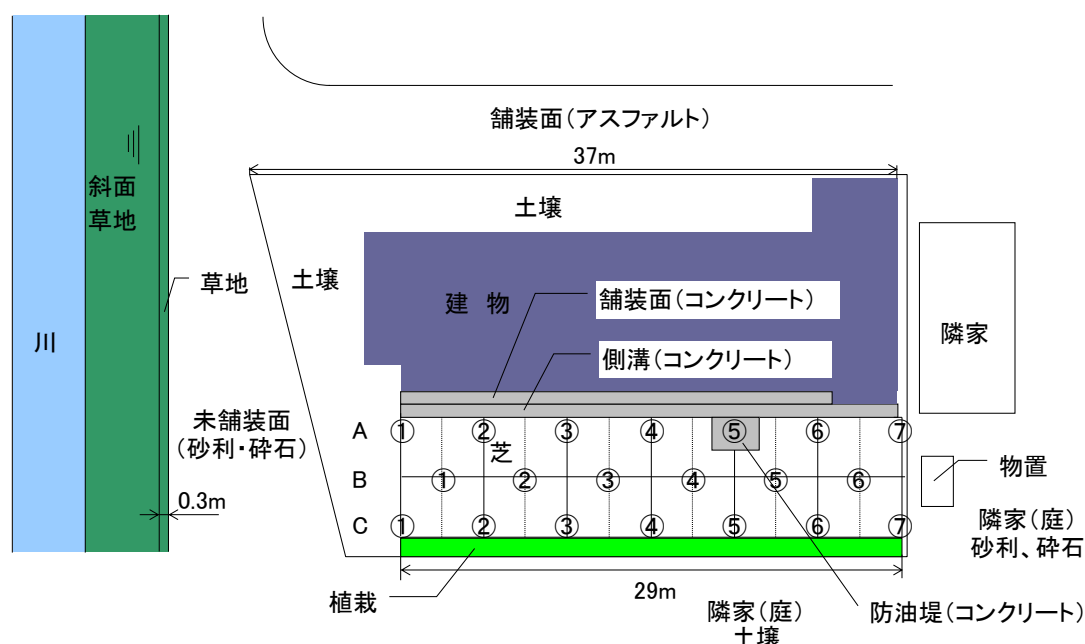
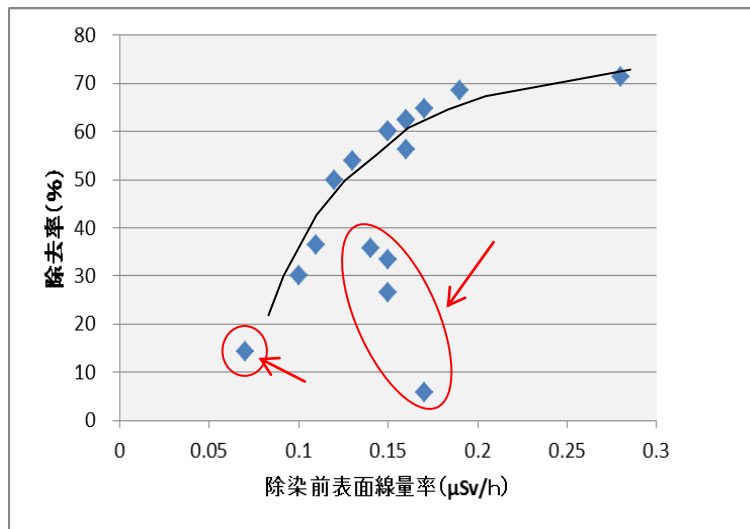
正規性	等分散性	検定方法
有	有	２つの母平均の差の検定（ｔ検定）
	無	ウェルチの検定
無		ウィルコクスンの順位和検定

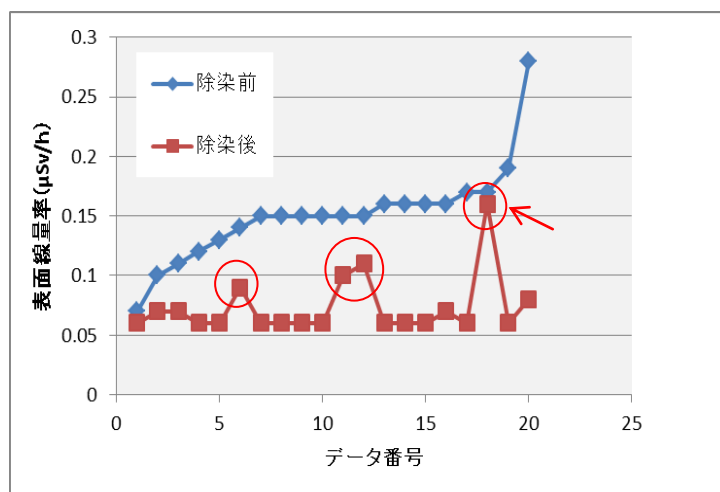
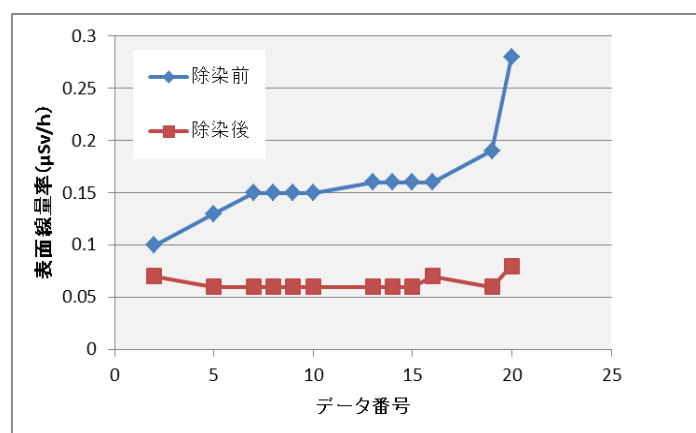
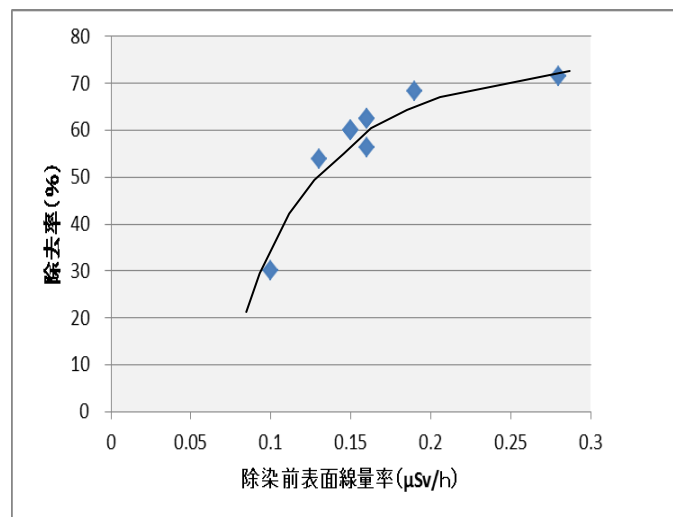
[19] 正規性：母集団が正規分布に従っていることを意味する。

[20] 等分散性：それぞれのグループの母分散がすべて等しいことを意味する。等分散性の判断は、F 検定を実施する。

資料９　除染対象物の材質や周辺の影響を受けている場合のデータの取扱い例

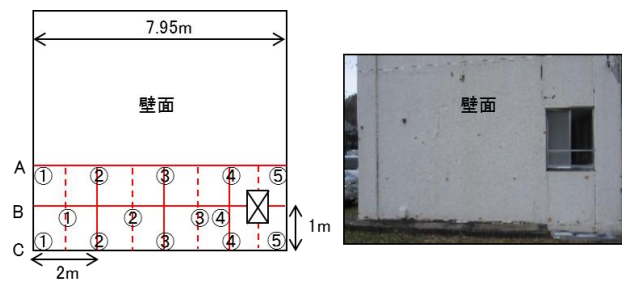
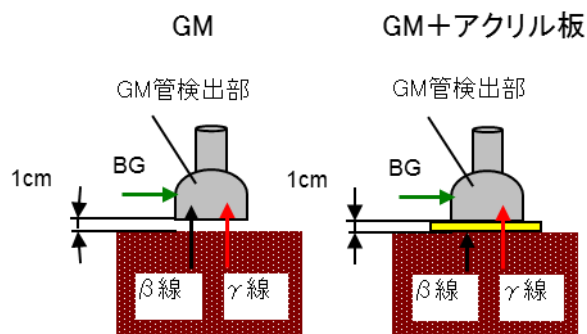
川内村において芝地の剥ぎ取りを実施した。芝地の測定位置を資図 9-1 に示す。測定位置は A①～A⑦、B①～B⑥、C①～C⑦の 20 地点である。測定器は NaI シンチレーションサーベイメータで、コリメータしたデータである。20 地点の除染前後の測定結果を資図 9-2 に示す。各測定位置の除染前の値を昇順にして並べデータ番号をつけ、それと対となる除染後の値もプロットした。資図 9-3 は除染前の表面線量率と除去率の相関である。資図 9-2、資図 9-3 に赤〇で示すように他のデータと離れたデータがある。これらのデータは A⑤のように芝地とは材質が異なる側溝コンクリート上面であったり、C のように除染範囲の境界近傍であり、民家側に近く植木や草などの影響がある位置と推定される。したがってこれらの位置における除染後の測定結果は、除染の効果とは違った影響を受けていると考えられる。

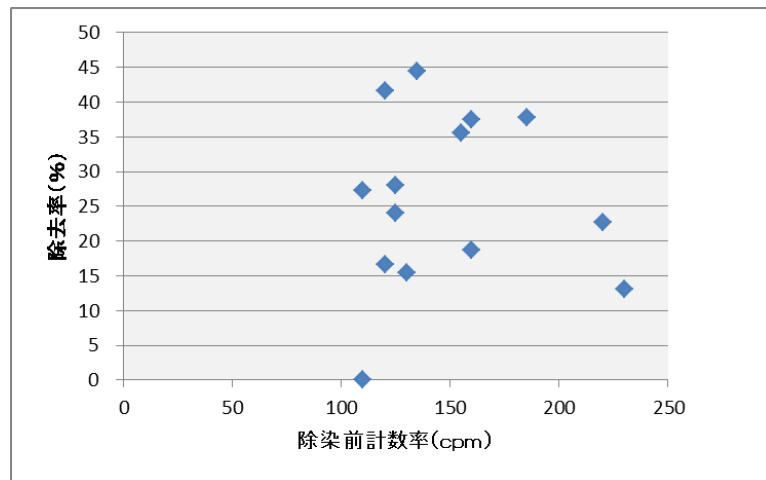
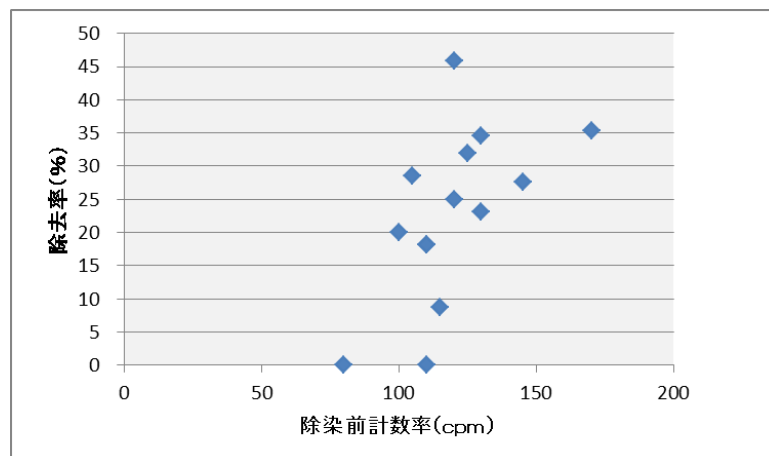
A⑤及び C のデータ以外の結果をプロットしたものが資図 9-4、資図 9-5 である。このように、同じ材質、周辺の影響がない地点で評価するとばらつきがないことがわかり、当該除染が適切に実施されたと判断できる。

資図 9-1　芝地の測定位置

資図 9-2　除染前/除染後の 1 cm 高さの空間線量率

（20 地点（同値で重なっているデータ含む））

資図 9-3　1 cm 高さの線量率と除去率の相関（20 地点）

資図 9-4　除染前/除染後の 1 cm 高さの空間線量率（12 地点）

資図 9-5　１cm 高さの空間線量率と除去率の相関
（12 地点（同値で重なっているデータ含む））

資料 10　除染対象物が汚染されていない或いは放射線量が極めて低い場合と判断される測定データの取扱い例

1）壁面の場合

川内村において壁面のふき取りを実施した。壁面の測定位置を資図 10-1 に示す。測定位置は A①～A⑤、B①～B④、C①～C⑤の 14 地点である。測定器は GM サーベイメータで、資図 10-2 のようにコリメータ無しでアクリル板を使用しない場合と使用した場合で測定した。

資図 10-1　壁面の測定位置

資図 10-2　測定ケース
（GM サーベイメータ）

14 地点の除染前の計数率（アクリル板未使用）と除去率の相関を資図 10-3 に示す。この結果は前項の資図 9-5 とは違って、曲線の相関がなく全体的にばらついている。アクリル板を使用した場合の測定も同様にばらついた結果である（資図 10-4）。

資図 10-3　計数率と除去率の相関（アクリル板未使用）

資図 10-4　計数率と除去率の相関（アクリル板使用）

そこでアクリル板未使用時とアクリル板使用時の差をとり、バックグラウンド及び表面からのγ線の影響を極力少なくして、表面からのβ線のみの値を算出した結果を資表 10-1 に示す。

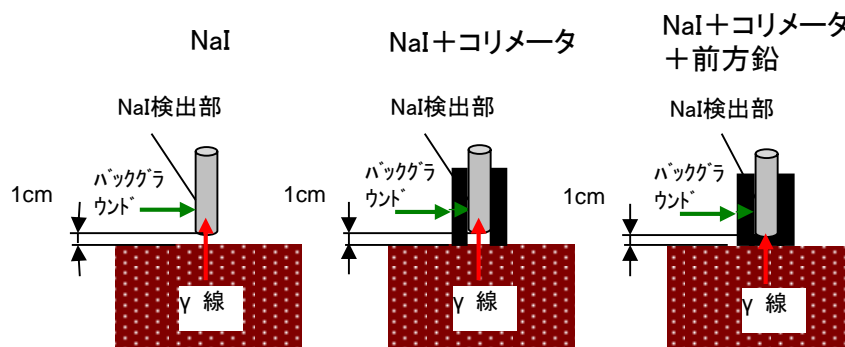
資表 10-1　表面からのβ線の値

測定位置		除染前 計数率 （cpm）	除染後 計数率 （cpm）
A	①	0	20
	②	20	20
	③	35	15
	④	10	20
	⑤	15	5
B	①	15	−5
	②	−20	−5
	③	45	10
	④	15	10
	⑤		
C	①	30	30
	②	110	60
	③	115	95
	④	10	−5
	⑤	15	5

除染前も除染後もおおむね 100cpm 以下の値であり、0 以下の値を示している測定位置もある。これは、もともと当該壁面の計数率が低く、ほとんど汚染されていないことに起因すると考えらる。したがって、本ケースでは除染の効果を判定する対象ではないことがわかる。

なお、C②、C③は比較的大きい値であるが、C の位置は地面（犬走り）に近いため、周辺の影響を受けていると考えられる。したがって、壁のふき取り効果に対する評価は C の値を除外して考察することが妥当と思われる。

2）舗装面（コンクリート）の場合

川内村において舗装面（コンクリート）の測定を実施した。測定位置は①～⑥、A⑤の 7 地点である。測定器は NaI シンチレーションサーベイメータで、資図 10-5 のように周辺からの影響を低減するためにコリメータを使用し、さらに表面からのγ線の影響を確認するため、前方に鉛板を取り付けた状態でも測定した。

資図 10-5　測定ケース
（NaI シンチレーションサーベイメータ）

NaI シンチレーションサーベイメータにコリメータを取り付けて測定した結果、周辺からのγ線の影響を低減できた。

さらに、前方に鉛板を取り付けて未使用時との差をとり、バックグラウンドのγ線の影響を相殺して、舗装面（コンクリート）表面からのγ線のみの値を算出した結果、表面からのγ線が 0～0.02μSv/h となり、舗装面（コンクリート）がほとんど汚染されていないことがこの結果から分かる。

資表 10-2　表面からのγ線の値（除染前の測定値）

測定位置	NaI のみ	A　コリメータのみ	B　コリメータ+前方鉛	表面からのγ線（=A-B）
	1cm 高さの空間線量率（μSv／h）			
①	0.37	0.13	0.11	0.02
②	0.19	0.06	0.05	0.01
③	0.23	0.08	0.07	0.01
④	0.21	0.07	0.07	0.00
⑤	0.19	0.07	0.06	0.01
⑥	0.24	0.08	0.07	0.01
A⑤	0.19	0.07	0.06	0.01

手引書執筆分担

1. 放射線測定場所の選定

大成建設（株）	島田曜輔、守屋雅之
日本国土開発（株）	山田善之
日立ＧＥニュークリア・エナジー（株）	神宮司悠、市村彰

2. 放射線測定方法の選択

（株）千代田テクノル	亀田周二
ポニー工業（株）	釜田敏光
（株）アトックス	大塚誠

3. 放射線測定の実施

東電環境エンジニアリング（株）	小堤祐一
（株）千代田テクノル	亀田周二
（株）アトックス	大塚誠

4. 除染効果の確認

大成建設（株）	島田曜輔、守屋雅之

ワーキンググループ参画企業

大成建設（株）、（株）アトックス、東電環境エンジニアリング（株）、エヌエス環境（株）
キャンベラジャパン（株）、テュフラインランドジャパン（株）、ポニー工業（株）
（株）環境管理センター、（株）熊谷組、原子燃料工業（株）、三井住友建設（株）
三菱マテリアル（株）、西部建設、（株）千代田テクノル、日本国土開発（株）
日立ＧＥニュークリア・エナジー（株）、（株）日立プラントテクノロジー
富士電機（株）、前田建設工業（株）、東京電力（株）、（株）三菱総合研究所

本手引書に関する連絡先

除染・廃棄物技術協議会　事務局
（株）三菱総合研究所　科学・安全政策研究本部内
電話　：03-6705-6165　　メール：mri-jyosen@mri.co.jp

あとがき

東日本大震災に伴う東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故によって、環境中に大量の放射性物質が放出されました。今もなお多くの皆様が帰還できない状況にあり、国や自治体、関係者による懸命な除染活動が行われております。

本手引書は、「除染の効果を確認するための手引書」としてとりまとめられました。人の被ばく線量を評価するうえで指標となる 1m 高さや、50cm 高さにおける空間線量率の測定とは目的が異なるものですが、除染の効果を確認することは、除染の施工者が住民の皆様にきちんと除染作業が実施されたことを説明するとともに、その効果をご理解いただくためにも大変重要であると考えます。本手引書が今後の除染活動の一助となり、住民の皆様の一日も早い帰還につながることを願っております。

また、本手引書は、除染に関する新たな知見や放射線測定方法の実情を踏まえて、随時改訂を行います。

本手引書を作成するにあたり、実証試験の試験場所を提供していただきました川内村殿、川内村復興有限責任事業組合殿、伊達市殿、清水建設（株）伊達市除染作業所殿に心より感謝申し上げます。

除染・廃棄物技術協議会は、今後も被災された皆様に寄り添い、放射性物質によって汚染された環境の回復にできる限りの協力をして参ります。

除染・廃棄物技術協議会
除染分科会　線量評価ワーキンググループ